

Trabajo Fin de Grado

Estudio de la implementación de una torre con
cañón de 20 mm sobre el URO VAMTAC ST-5

Autor

Boris Fabián Herbas Apaza

Director/es

Director académico: Marcos Pueo Arteta

Director militar: Federico Citores López

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar
Año 2020

[PÁGINA INTENCIONALMENTE EN BLANCO]

Agradecimientos

En primer lugar, quisiera expresar mi gratitud a aquellas personas que, de manera desinteresada, han colaborado de múltiples formas en la realización de este Trabajo de Fin de Grado. La dedicación de su valioso tiempo expresa su enorme generosidad. Gracias a ellos he podido completar mi formación alcanzando el cual es el último, pero no menos importante, peldaño hacia el empleo de Teniente del Ejército de Tierra.

En segundo lugar, agradecer al Regimiento de Caballería «Lusitania» N.º 8 donde he tenido la suerte de realizar mis prácticas externas. Y de manera más concretar, agradecer al 2º Escuadrón «Pezuela de la Torres». Ellos me han brindado la oportunidad de conocer mi futuro trabajo de la manera más cercana posible, proporcionándome multitud de oportunidades y facilidades para aprender y comprender lo que significa ser un buen mando. Así mismo y de manera más específica, me gustaría agradecer a mi Director y Tutor Militar el Capitán de Caballería D. Federico Citores López, quien ha hecho que me sienta apoyado desde el inicio de esta etapa con su gran dedicación, disponibilidad y cercanía. Todos sus conocimientos y consejos han contribuido enormemente tanto a mi formación como a la realización del Trabajo Fin de Grado.

En tercer lugar, agradecer también a mi Directo Académico D. Marcos Pueo Arteta, quien me ha guiado con profesionalidad por el camino correcto durante la realización del presente trabajo.

Por último, agradecer a mi familia. Ellos han sido y son la pieza fundamental de cualquier de mis logros. Su constante apoyo moral durante estos 5 años de carrera me ha brindado las fuerzas necesarias para llegar a cumplir mis objetivos.

De corazón, gracias por tener confianza en mi desde siempre.

En definitiva, gracias a todos.

[PÁGINA INTENCIONALMENTE EN BLANCO]

Resumen

El trabajo trata sobre la implementación de una torre ligero-protegida con un cañón automático y un periscopio independiente para el jefe de vehículo sobre el URO VAMTAC-ST5. El estudio de este prototipo se basa en la necesidad del Regimiento de Caballería «Lusitania» N.º 8 por encontrar un vehículo capaz de ser aerolanzable y, al mismo tiempo, poder cumplir con los cometidos doctrinales de la Caballería: vigilancia, reconocimiento y protección. De este modo, el trabajo persigue, como objetivo, proponer una torre de entre las distintas alternativas del mercado actual. Para ello, primero se selecciona el calibre que debe tener su cañón y posteriormente, se propone el posible prototipo que solventa las vicisitudes planteadas. De este modo, se aborda el estudio con una serie de análisis de carácter secuencial.

En primer lugar, se realiza un análisis de la plataforma base donde se quiere implantar la torre, el VAMTAC-ST5, con el objetivo de, primeramente, verificar que es el vehículo idóneo para ser aerolanzado y, en segundo lugar, asegurar que sus capacidades permiten desarrollar el montaje de la torre.

Seguidamente se aborda la elección del calibre de la torre. Para ello, se realiza un análisis de vehículos pertenecientes a otros ejércitos con armamento y características similares a las que se buscan en el proyecto. De este modo, se obtiene una base referenciada la cual permite comprender los puntos fuertes de un calibre de cañón, seleccionándolo, en comparación con otras alternativas. A continuación, y para terminar de justificar dicha elección, se realiza una entrevista al grupo de especialistas de vehículos ligeros del tercer escalón de la Agrupación Logística Divisionaria N.º 1, donde se extraen argumentos que sustentan la posibilidad del montaje técnico del prototipo.

Posteriormente, se desarrolla la propuesta. Para ello, en primer lugar, se realiza una encuesta destinada a los Cuadros de Mando del Regimiento «Lusitania». De esta manera, se obtienen una serie de conclusiones respecto a los requisitos que debe cumplir la torre para poder ejercer los cometidos de la Caballería, es decir, se extraen las necesidades a cubrir para una viabilidad táctica. Tras ello, los requerimientos se transcriben a componentes y capacidades mecánicas. Estos aspectos técnicos se someten a un análisis y valoración con la finalidad de presentar una preselección de elementos idóneos para el prototipo. Estos elementos abarcan el tipo de proyectil, la clase de cañón y el periscopio. A continuación, se hace un estudio de mercado con la finalidad de encontrar aquellas torres que cumplen con los requisitos y estén compuestas por los elementos valorados. De este modo, se obtienen tres posibles torres que cumplen con todas las exigencias. Finalmente, para poder establecer y seleccionar la propuesta de la torre idónea se utiliza la metodología multicriterio *Analytic Hierarchy Process*. La propuesta concluye con la elección y presentación de la torre más adecuada a la hora de cumplir con todos los requisitos, análisis y estudios previos realizados.

Por último, se expone una propuesta de un posible Escuadrón de Caballería Aerolanzable compuesto por la nueva configuración del VAMTAC-ST5. La finalidad es determinar una aplicación real del prototipo planteado para el Regimiento «Lusitania».

[PÁGINA INTENCIONALMENTE EN BLANCO]

Abstract

The work is about the implementation of a lightweight-protected tower with an automatic gun and a separate periscope for the vehicle chief on the URO VAMTAC-ST5. The study of this prototype is based on the need of the Cavalry Regiment Lusitania No. 8 to find a vehicle capable of being airborne and, at the same time, to be able to fulfill the doctrinal tasks of the Cavalry: surveillance, reconnaissance and protection. In this way, the work pursues, as an objective, to propose a tower from among the different alternatives on the current market. To do so, first the calibre that its cannon should have is selected and then the possible prototype that solves the proposed vicissitudes is proposed. In this way, the study is approached with a series of sequential analyses.

Firstly, an analysis of the base platform where the tower is to be installed, the VAMTAC-ST5, is carried out with the aim of, firstly, verifying that it is the ideal vehicle to be launched and, secondly, ensuring that its capacities allow the tower assembly.

Next, the choice of the tower calibre is tackled. To do so, an analysis of vehicles belonging to other armies with similar weapons and characteristics to those sought in the project is carried out. In this way, a referenced base is obtained which allows that we understand the strong points of a cannon calibre, selecting it, in comparison with other alternatives. Next, and to complete the justification of this choice, an interview is held with the group of light vehicle specialists from the third step of the Logistics Division No. 1, where arguments are extracted to support the possibility of the technical assembly of the prototype.

Subsequently, the proposal is developed. To this end, firstly, a survey is carried out for the "Lusitania" Regiment's Commanders. In this way, a series of conclusions are obtained regarding the requirements that the tower must comply to be able to exercise the Cavalry's tasks. After that, the requirements are transcribed into mechanical components and capabilities. These technical aspects are subjected to an analysis and assessment in order to present a pre-selection of suitable elements for the prototype. These elements include the type of projectile, the type of cannon and the periscope. Afterwards, a market study is carried out in order to find those towers that meet the requirements and are composed of the elements evaluated. In this way, three possible towers are obtained that satisfy all the requirements. Finally, the Analytic Hierarchy Process multi-criteria methodology is used to establish and select the ideal tower proposal. The proposal concludes with the selection and presentation of the most suitable tower to meet all the requirements, analysis and previous studies carried out.

Finally, a proposal of a possible Airborne Cavalry Squadron composed by the new configuration of the VAMTAC-ST5 is presented. The aim is to determine a real application of the prototype proposed for the Lusitania Regiment.

[PÁGINA INTENCIONALMENTE EN BLANCO]

Índice

Agradecimientos	I
Resumen	III
Abstract	V
Anexos.....	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de ilustraciones	IX
Índice de tablas	X
Lista de abreviaturas	XI
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Objetivos	2
1.2. Ámbito de aplicación	2
1.3. Metodología.....	3
Capítulo 2. Generalidades del URO VAMTAC ST-5.....	4
2.1. Aspectos técnicos	4
2.2. Encuadramiento del VAMTAC ST-5 en el ET	5
Capítulo 3. Elección del calibre para la torre	6
3.1. Análisis de vehículos similares de otros ejércitos.....	7
3.1.1. Vehículo americano JLTV con cañón de 30 mm	7
3.1.2. Vehículo francés VBL con cañón de 20 mm	8
3.1.3. Vehículo ruso Tiger GAZ-2330 con cañón de 30 mm.....	9
3.1.4. Conclusiones de los vehículos similares	10
3.2. Entrevista al personal de la ALOG 1.....	11
Capítulo 4. Requisitos necesarios de la torre.....	12
Capítulo 5. Estudio de aspectos técnicos	14
5.1. Tipo de proyectil.....	14
5.2. Clase de cañón	16
5.2.1. Cañón M621	16
5.2.2. Cañón Oerlikon 5TG	17
5.3. Periscopio.....	18
Capítulo 6. Análisis de resultados y propuesta.....	19
6.1. Metodología AHP	20
6.2. Propuesta a través de la metodología AHP	20
Capítulo 7. Papel de la nueva configuración del ST-5 en la Brigada Paracaidista.....	24
Capítulo 8. Conclusiones.....	26
8.1. Líneas futuras	27
Capítulo 9. Bibliografía	28

Anexos

Anexo A. Especificaciones del sistema R400S-MK2	32
Anexo B. Especificaciones del cañón Rh-202 o MK-20	33
Anexo C. Especificaciones del cañón 2A42	34
Anexo D. Entrevista al grupo de especialistas de vehículos ligeros de la ALOG 1	35
Anexo E. Cuestionario de valoración del prototipo	36
Anexo F. Cuadro de municiones de calibre 20 mm	38
Anexo G. Especificaciones de la torre ARX-20	41
Anexo H. Especificaciones de la torre P-20	42
Anexo I. Especificaciones de la torre Sentinel-20.....	43
Anexo J. Metodología AHP	44
Anexo K. Cálculos de la metodología AHP para la propuesta de la torre de 20 mm	47

Índice de figuras

Figura 1. Plataforma base del VAMTAC- ST5.....	4
Figura 2. Organigrama de Grupo de Caballería Ligero Acorazado. Destacado la ubicación de los VERT,s.....	4
Figura 3. Diagrama de flujo de los requerimientos de los CUMA,s.....	13
Figura 4. Munición 5,56 x 45 mm	14
Figura 5. Munición Vulcan o M50.....	15
Figura 6. Munición 20 x 110.....	15
Figura 7. Munición 20 x 128.....	15
Figura 8. Periscopio del VRCC.....	18
Figura 9. Estructura jerarquizada	21
Figura 10. Escuadrón de Caballería Aerolanzable	25
Figura 11. Estructura jerarquizada	44

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Comparativa de modelos VAMTAC S3 y ST5 respectivamente	1
Ilustración 2. Ejemplos de distintas configuraciones del VAMTAC-ST5.....	5
Ilustración 3 Configuración VERT	5
Ilustración 4. JLTV con cañón de 30 mm	7
Ilustración 5. VBL con cañón de 20 mm	8
Ilustración 6. Tiger GAZ-2330 con cañón de 30 mm	9
Ilustración 7. Torre Giat con cañón M621	16
Ilustración 8. Cañón Oerlikon 20 mm.....	17
Ilustración 9. Sistema R400S-MK2.....	32
Ilustración 10. Cañón Rh-202.....	33
Ilustración 11. Cañón 2A42.....	34
Ilustración 12. Torre ARX-20.....	41
Ilustración 13. Torre P-20	42
Ilustración 14. Torre Sentinel-20	43

Índice de tablas

Tabla 1. Análisis DAFO del JLTV con el cañón de 30 mm.....	8
Tabla 2. Análisis DAFO del VBL con cañón de 20 mm.....	9
Tabla 3. Análisis DAFO del Tiger GAZ-2330 con cañón de 30 mm.....	10
Tabla 4. Características del cañón M621.....	17
Tabla 5. Características del cañón Oerlikon 5GT.....	17
Tabla 6. Características relevantes de las torres.....	19
Tabla 7. Matriz de comparación pareadas de criterios.....	21
Tabla 8. Pesos (W) de los criterios.....	22
Tabla 9. Matriz de decisión.....	22
Tabla 10. Relación de medios del Escuadrón Aerolanzable.....	25
Tabla 11. Información técnica del sistema R400S-MK2.....	32
Tabla 12. Especificaciones del cañón Rh-202.....	33
Tabla 13. Especificaciones del cañón de 2A42.....	34
Tabla 14. Munición 20 x 102 mm.....	38
Tabla 15. Munición 20 x 110 mm.....	38
Tabla 16. Munición 20 x 128 mm.....	39
Tabla 17. Escala de Saaty.....	45
Tabla 18. Índice de Consistencia Aleatorio según n.....	46
Tabla 19. Matriz de decisión.....	46
Tabla 20. Matriz de comparación de criterios A_{ij}	47
Tabla 21. Matriz normalizada A a partir de A_{ij}	47
Tabla 22. Pesos de los criterios.....	47
Tabla 23. Cálculo del CR.....	48
Tabla 24. Matriz de decisión.....	50

Lista de abreviaturas

FAS	Fuerzas Armadas
TO	Teatro de operaciones
VAMTAC	Vehículo de Alta Movilidad Táctica
DEGAM	Dirección General de Armamento y Material
RC	Regimiento de Caballería
BRIPAC	Brigada «Almogávares» VI de Paracaidistas
ET	Ejército Terrestre
RCWS	Remote Controlled Weapon Station
AMP	Ametralladora Pesada
ALOG	Agrupación Logística
CUMA,s	Cuadro de Mandos
GECM	Grupo de Expertos conformado por Cuadros de Mando
AHP	Analytic Hirarchy Process
IED	Improvised Explosive Device
VERT	Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre
VEC	Vehículo de Exploración de Caballería
JLTV	Join Light Tactical Vehicle
VBL	Véhicule Blindé Léger
OTAN	Organización del Tratado del Norte
HEI	High Explosive Incendiary
API	Armour Piercing Incendiary
EX	Excercise Tracer
AEIT-AD	Alto Explosivo Incendiario con Trazado y Autodestrucción
VRCC	Vehículo de Reconocimiento y Combate de Caballería
RC	Razón de Consistencia
ICA	Índice de Consistencia Aleatorio
EAV	Escalón Avanzado
EAS	Escalón de Asalto
ER	Escalón de Refuerzo
GCA	Grupo de Caballería Aerolanzable

[PÁGINA INTENCIONALMENTE EN BLANCO]

Capítulo 1. Introducción

Los cometidos y las misiones de las FAS (Fuerzas Armadas) han evolucionado a la par que las necesidades requeridas en los Teatros de Operaciones (TO) en los que actualmente se encuentran desplegadas las fuerzas españolas. No obstante, aunque el objetivo final de las FAS se mantiene inalterado¹ [1], el modo de cómo hacerlo sí ha cambiado. Este suceso ha ocurrido, en gran medida, debido al desarrollo y progresión de la tecnología en el ámbito militar. De este modo, los nuevos medios de combate que se han ido sucediendo han provocado importantes cambios en el planeamiento y ejecución de las misiones de las FAS [2]. Estos hechos también han repercutido en la especialidad fundamental de Caballería, ya que, desde la fabricación del primer carro de combate, el Mark I, los cometidos y aptitudes de este arma han dado un vuelco desde los inicios de su formación hasta la actualidad.

En consecuencia, hoy en día el arma de la Caballería es requerida doctrinalmente por su movilidad, flexibilidad, potencia de fuego y protección llevando consigo medios de combate acordes a estas características. Un claro ejemplo es el carro de combate Leopard 2E presente en las unidades de Caballería Acorazadas. Dicho carro cuenta con un blindaje que soporta proyectiles de 125 mm, una potencia de fuego elevada con uso de proyectiles de 120 mm de calibre capaces de perforar cualquier tipo de blindaje y una autonomía de 340 km [3].

Por otro lado, el cambio de escenario en los TO también ha tenido y tiene un peso importante para el desarrollo de los medios de combate militar. De este modo en la última década, el paso de un combate convencional y simétrico² [4] a un combate urbanizado y asimétrico³ [4] provocó un reajuste en la obtención de materiales y el planeamiento de estrategias militares. Para poder adaptarse a esta nueva situación, el Ministerio de Defensa elaboró diversos programas de fabricación y adquisición de nuevo equipo militar.

Por consiguiente, el Vehículo de Alta Movilidad Táctica (VAMTAC), plataforma base de este trabajo, fue uno de los beneficiados de los nuevos programas de adquisición y mejora. Su renovación más próxima fue el cambio de modelos que se produjo a lo largo de los años 2014-2017, pasando del VAMTAC S3 al ST-5 (Véase ilustración 1). Este cambio vino de la mano de la firma de un nuevo contrato en el año 2014 por parte de la Dirección General de Armamento y Material (DEGAM) con UROVESA, empresa gallega especializada en la fabricación de material militar.



Ilustración 1. Comparativa de modelos VAMTAC S3 y ST5 respectivamente

Fuente: Web Flickr y Annak Military Blog

¹ Las Fuerzas Armadas, constituidas por el Ejército de Tierra, la Armada y el Ejército del Aire, tienen como misión garantizar la soberanía e independencia de España, defender su integridad territorial y el ordenamiento constitucional.

² Conflicto simétrico: "Aquel en el que el enfrentamiento entre fuerzas regulares es abierto y con modelos estratégicos similares".

³ Conflicto asimétrico: "Aquel que se produce entre varios contendientes de capacidades militares normalmente distintas y con diferencias sustanciales en su modelo estratégico".

No obstante, y a pesar de la renovación en material militar, hasta hoy en día las FAS no cuenta con ningún tipo de unidad de Caballería Aerolanzable. La razón principal de esta situación se debe a que actualmente las FAS no dispone de ningún vehículo que combine dimensiones y pesos, las cuales no sobrepasen las restricciones de espacio y capacidad de carga de las aeronaves de dotación, con una elevada potencia de fuego. Como resultado, estos hechos ubican al Regimiento de Caballería (a partir de ahora RC) «Lusitania» N.º 8 en una situación limitada, debido a que su reorganización en la Brigada «Almogávares» VI de Paracaidistas (BRIPAC) desde el año 2017, le implica asumir la capacidad aerolanzable y aerotransportable, pero evidentemente, sin perder las características doctrinales propias de la Caballería: movilidad, flexibilidad, potencia de fuego y protección.

1.1. Objetivos

Una posible solución a la problemática expuesta sería implementar una torre con un cañón de calibre elevado sobre el vehículo VAMTAC ST-5 y encuadrarlo en la Caballería Paracaidista. De este modo, se dotaría al Ejército de un vehículo táctico capaz, tanto de ser lanzado, gracias a sus dimensiones y peso, como de cumplir con los cometidos propios de la Caballería de forma independiente. Sin embargo, la idea de esta nueva configuración del VAMTAC ST-5 no está implementada todavía, siendo así una posible opción de entre muchas.

Por ello, el presente trabajo persigue analizar dicha opción, la cual se basa en el estudio de la implementación de una torre sobre el ST-5. De esta manera, el objetivo principal del proyecto es determinar cuál de las distintas torres disponibles en el mercado, que se puedan adaptar al VAMTAC-ST5, sería la mejor alternativa para cubrir las necesidades actuales de la Brigada Paracaidista. De este modo, primero es necesario buscar y determinar la elección de un calibre para la torre de entre aquellas alternativas capaces de cubrir un rango de cometidos semejantes. Una vez definido el calibre, se pasaría a proponer la torre que cumpla con los requisitos buscados y que mejor se adapte a las necesidades expuestas, con el fin de plantear su implantación sobre el ST-5. Así se presentaría un prototipo de vehículo que combine potencia de fuego y capacidad de ser proyectado.

Además, con la propuesta del VAMTAC-ST5, se pretende establecer una nueva configuración de Escuadrón de Caballería Aerolanzable, que podría aplicarse en el RC «Lusitania» N.º 8.

1.2. Ámbito de aplicación

Este estudio facilita un camino para el futuro de la Caballería Paracaidista dentro del Ejército Terrestre (ET) español. Actualmente la única unidad de Caballería encuadrada dentro de la BRIPAC es el RC «Lusitania» N.º 8, de manera que contar con este prototipo, le permitiría ejercer sus cometidos una vez que esta Unidad haya sido desplegada en el TO.

Por otro lado, la aplicación de este prototipo también se podría extender a aquellas unidades que cuentan con vehículos VAMTAC-ST5 con torres RCWS Samson⁴ [5] dotadas de AMP (Ametralladora Pesada) de 12,70 mm, las cuales presentan una potencia de fuego inferior. Estas configuraciones con torre RCWS Samson tiene cometidos destinados a la protección y apoyo. Un claro ejemplo son los movimientos a través de convoyes, donde estos vehículos proporcionan protección a unidades que carecen de suficiente potencia de fuego durante su desplazamiento entre dos puntos [6]. En este ámbito, el nuevo prototipo podría ser utilizado en aquellas misiones que se precise una mayor potencia de fuego para garantizar la protección al resto de unidades. Es decir, las FAS tendría con esta nueva configuración del VAMTAC-ST5 una posibilidad más para hacer frente a los cometidos de apoyo en el TO.

⁴ RCWS Samson (Remote Controlled Weapon Station): Sistema de armamento remoto que permite el manejo automático de diversas ametralladoras.

1.3. Metodología

Para el desarrollo del proyecto, se trabaja con grupos de expertos de distintas aéreas a través de entrevistas y reuniones.

Dentro de los grupos, se diferencia dos tipos:

- Grupo de especialistas: conformado por especialistas en vehículos ligeros y pertenecientes al tercer escalón ⁵ [7] de la Agrupación Logística Divisionaria N.º 1 (ALOG 1).
- Grupo de expertos: formado por Cuadros Mandos (CUMA,s) del RC «Lusitania» N.º 8 (denotado: GECEM).

El estudio se aborda, en un primer momento, mediante la recopilación de información sobre el vehículo URO VAMTAC ST-5 a través de manuales doctrinales del ET e información oficial de la empresa UROVESA. De este modo, se pretende conocer las características generales de la base sobre la que se plantea implementar la torre y determinar su adecuación para el desarrollo del proyecto.

Una vez conformado los grupos de expertos y tras el análisis de la plataforma, se comienza a estudiar la elección de un calibre para la torre de entre las distintas alternativas. Para ello se realiza lo siguiente:

Se elabora un estudio sobre vehículos dotados con armamento similar de otros ejércitos. En este estudio se analiza tanto ejércitos que pertenecen a la OTAN (Francia y E.E.U.U.) como otros que no (Rusia). De esta manera, y mediante el uso de la herramienta DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), se desea comprender los beneficios y desventajas, tanto tácticas como técnicas, que aporta cada prototipo a su respectivo ejército. Esto permite que, a través de una comparación y análisis, se determine y justifique la elección del calibre para la torre. Por último, y mediante una reunión con el Grupo de Especialistas, se aborda el campo del montaje técnico de la torre sobre el VAMTAC ST-5 con el objetivo de completar la justificación sobre si la elección del calibre es la idónea.

Una vez finalizado el análisis de la elección del calibre de la torre, se realiza la propuesta del tipo de torre. Para ello, se ejecuta lo siguiente:

Se elabora un cuestionario donde los Cuadros de Mando determinen los requisitos mínimos que debe cubrir la torre. Estos requisitos, que abordan las capacidades y las necesidades de la Caballería, se transcriben a componentes y elementos mecánicos. De este modo, y a través de reuniones con el GECEM, se preseleccionan los componentes técnicos más idóneos para que la torre cubra las necesidades. A continuación, con los datos obtenidos se realiza un estudio de mercado de aquellas torres que cumplen con todos los requisitos extraídos. Tras ello, y mediante el Proceso Analítico Jerárquico (en adelante AHP que viene de *Analytic Hierarchy Process*) se propone la torre de cañón automático que más se adecue al VAMTAC ST-5 y a las necesidades operativas de la Caballería.

Por último, se realiza una propuesta, en líneas futuras, del papel real que podría tener el prototipo dentro de la Caballería Paracaidista española.

⁵ Grupos de mantenimiento integral para el refuerzo del segundo escalón, control de calidad y abastecimiento de repuestos y herramientas del material militar.

Capítulo 2. Generalidades del URO VAMTAC ST-5

En primer lugar, se debe resaltar del modelo ST-5 su historial como vehículo reglamentario dentro de ejércitos pertenecientes a la OTAN, así como su diseño puramente táctico, haciéndolo idóneo para cumplir los estándares militares [8].

Partiendo de dichas referencias, en este capítulo se pretende conocer la plataforma base del prototipo con el objetivo de determinar si sus características permiten implementar una torre con las especificaciones requeridas en el proyecto. Por otra parte, dicho análisis parte sobre la premisa de que el vehículo es adecuado para solventar los problemas acaecidos por la BRIPAC en cuanto a la búsqueda de un ligero proyectable. Esto último se argumenta con el análisis realizado por el Alférez Antonio López Añón en su trabajo fin de grado *“Estudio para la adquisición de un Vehículo Aerotransportable de Exploración de Caballería”*, donde se determina la viabilidad del ST-5 como vehículo idóneo para la BRIPAC. Sus conclusiones de su elección se resumen brevemente en las siguientes: [9].

- Dimensiones y peso acordes con las restricciones de las aeronaves de dotación.
- Vehículo de ámbito OTAN que garantiza potencial tecnológico y fiabilidad operativa.
- Dotado con un grado de protección elevado.
- Vehículo 4x4 con gran movilidad táctica y fácil proyección.

Así que, una vez confirmada su adecuada elección para ser proyectado, es pertinente conocer que sus características técnicas permiten la implementación de una torre.

2.1. Aspectos técnicos

Respecto a especificaciones de índole más técnico, el VAMTAC ST-5 cuenta con un motor de 3.200 centímetros cúbicos Steyr TCA Diésel de 6 cilindros en línea y biturbo secuencial con intercooler, lo que le permite alcanzar un rendimiento de 163 CV. Además, dispone de dos baterías de 12 voltios y un alternador de 28 voltios capaces de garantizar una gran autonomía de energía eléctrica. Por otro lado, cuenta con protección contra minas e IED,s. Su peso es de 3500 kg y tiene una capacidad de carga de hasta 5000 kg. También, lleva un sistema de detección y extinción de incendios en cabina, neumáticos con runflat⁶, protección perimetral para el tirador y cámara de visión trasera o cabestrante. En cuanto a su velocidad, puede alcanzar los 110 km/h. Y respecto a su autonomía, esta es de aproximadamente unos 600 km.

Por otro lado, su tracción 4x4 permanente y sus 5 velocidades de marcha permiten un sistema de control eficiente. Además, cuenta con un bloqueo diferencial de la caja de transferencia y los ejes para dar mayor potencia, de manera deliberada, a las ruedas que lo precisen. Por todo ello, el VAMTAC ST-5 adquiere una gran facilidad de adaptación para cualquier tipo de terreno.

Otras especificaciones técnicas destacadas son:
Toda la información viene de [10] y [11].

- Suspensión independiente en las cuatro ruedas.
- Capacidad de vadeo hasta 1.5 m.
- Control de inflado de las ruedas.
- Gran espacio entre carrocería y suelo.
- Dimensiones: 4,9 x 2,2 x 1,9 m.

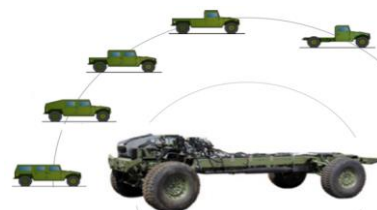


Figura 1. Plataforma base del VAMTAC- ST5

Fuente: Catálogo URO VAMTAC

⁶ Neumáticos autoportantes que permiten la rodadura sin aire.

No obstante, la principal y más destacada característica de este vehículo radica en su versatilidad. Esta proporciona grandes facilidades para cubrir varias necesidades tácticas en el campo, como la vigilancia, el transporte y la comunicación entre otras. Esto se debe a que UROVESA ha logrado crear una plataforma base (Véase figura 1) a partir de la cual se pueden conseguir múltiples configuraciones (Véase ilustración 2) facilitando la adaptación del propio vehículo a cualquier requerimiento operacional.



Ilustración 2. Ejemplos de distintas configuraciones del VAMTAC-ST5

Fuente: elaboración propia a partir de Catálogo URO VAMTAC

Se determina entonces, que atendiendo a su potencia de motor, capacidad de suministro de energía eléctrica, resistencia a incorporación de pesos elevados y versatilidad de configuración, el ST-5 presenta capacidades suficientes para facilitar la implementación de una torre de elevado calibre sobre el propio vehículo. De hecho, UROVESA presentó en la feria INDEX de 2017 un prototipo de ST-5 con una torre de calibre medio, en este caso de 20 mm, siendo esto un argumento más que ratifica que el ST-5 es un vehículo viable para soportar la implementación de una torre. Por otra parte, se debe destacar que dicha información se ha descartado por la imposibilidad de ponerse en contacto con la empresa, pudiendo haber sido un buen punto de partida del trabajo.

2.2. Encuadramiento del VAMTAC ST-5 en el ET

Los tres ejércitos de las FAS españolas cuentan con su servicio. Dentro del ET, el vehículo se haya encuadrado en unidades de todas las especialidades fundamentales, pero con diferentes cometidos según la configuración y sus especificaciones [12]. En lo que concierne a Caballería, no es el propio VAMTAC ST-5 el que se utiliza, si no su polivalente configuración VERT (Vehículo de Exploración y Reconocimiento Terrestre, véase ilustración 3), ya que proporciona mayor capacidad para el reconocimiento gracias a su sistema de vigilancia y control instalado. El VERT está encuadrado en las Secciones de Exploración y Vigilancia dentro de los Grupos de Caballería (Véase figura 2) [13].

Entonces, aunque el VAMTAC ST-5 por si solo muestra un gran versatilidad y fiabilidad en líneas generales, es necesario dotarle de material suplementario militar para que tenga la capacidad de cubrir los cometidos tan específicos de la Caballería, siendo necesario en este caso, la implantación de una torre de elevado calibre.



Ilustración 3. Configuración VERT

Fuente: Web ejercito.mde

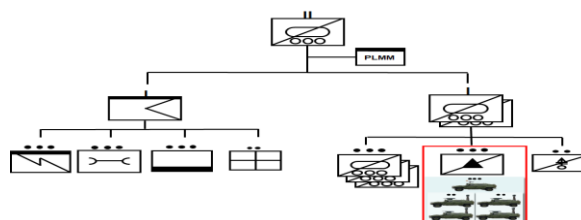


Figura 2. Organigrama de Grupo de Caballería Ligero Acorzado. Destacado ubicación de los VERT,s

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3. Elección del calibre para la torre

Una vez visto el potencial del ST-5, en este capítulo se estudia la elección del calibre para la torre. Los motivos de la elección de un calibre para la torre deben tener consistencia, ya que de no ser así cabría la posibilidad de denegar la viabilidad del proyecto y comenzar el estudio de otro prototipo. Se determina que, aunque el presente título del trabajo fin de grado seleccione y condicione el punto de partida a una torre de 20 mm, es necesario argumentar si es correcta esa selección. Este hecho se basa en que actualmente hay varios calibres y torres que son capaces de competir con una torre de 20 mm en cuanto a operatividad buscada. Dentro de ellos se destacan: Torre de 20 mm y torre de 30 mm. Todas ellas coinciden en cuatro aspectos fundamentales para la Caballería: [14].

- Estas torres tienen funciones asociadas a la ejecución de los cometidos de las fuerzas medias. Esto se debe a que los calibres de dichas torres permiten combinar equilibradamente capacidades de potencia de fuego, protección y proyección. Además, se añade la posibilidad asociada de una respuesta rápida y potente ante situaciones de incertidumbre, permitiendo a las unidades, que presentan de sus servicios, la capacidad de ser las indicadas para ser las primeras en actuar.
- Sus potencias de fuego en cuanto a calibre no permiten el enfrentamiento directo contra carros acorazados, no obstante, proporcionan la capacidad a las unidades que las usan, de acompañar a los carros de combate como núcleo de apoyo o constituir el núcleo principal de reconocimiento de cualquier agrupamiento táctico.
- Presentan mayor facilidad en cuanto a un diseño de sus dimensiones y su peso, respecto al cañón, complementos y equipamiento militar, acordes con la plataforma base sobre la que se pretende montar, el VAMTAC-ST5.
- Desarrolladas o en vías de investigación a una mejor actualización, realizándolo países miembros de la OTAN.

Se debe mencionar que el calibre 30 mm es usado por el carro Pizarro, sin embargo, no se descarta debido a que las funciones de dicha torre están asociadas al acorazado y esto determina: Los cometidos de un carro (uso de cadenas) no son los mismos que los de un vehículo (uso de ruedas); La mayoría de los Pizarros se hayan encuadrados en unidades de infantería desvirtuando los cometidos que la Caballería busca.

De este modo, la elección se debe determinar entre el calibre 20 y 30 mm. Por ello, este capítulo tiene como finalidad establecer una comparación entre ambas torres. Para abordar este apartado, se precisa oportuno realizar un análisis de antecedentes similares y desarrollar unas conclusiones que determinen con argumentos refutados y de peso los motivos de la elección de una frente a la otra. Así mismo, otro objetivo del capítulo es considerar si el montaje técnico de la torre elegida es viable, determinado un primer paso para un futuro desarrollo técnico completo y apoyando la elección.

3.1. Análisis de vehículos similares de otros ejércitos

En este apartado, se pretende entender los aspectos favorables y desfavorables de las distintas versiones de vehículos que guardan una estrecha relación, en cuanto a la configuración del calibre, con el prototipo que se busca en el proyecto.

Se debe destacar que algunas versiones que se analizan son prototipos pedidos expresamente por su correspondiente ejército y que aún no están de servicio, sin embargo, llevaban consigo varias pruebas de las cuales se han podido extraer información relevante. Por otro lado, algunos de estos han sido descartados por los motivos que se expondrán en sus correspondientes apartados.

Dentro del estudio de cada uno de los vehículos se tiene en cuenta tanto aspectos técnicos como el motivo de su desarrollo táctico. Para los distintos análisis se emplea la herramienta DAFO, donde se debe destacar que Debilidades y Fortalezas tratan aspectos técnicos del armamento y las Amenazas y Oportunidades abordan los aspectos tácticos que ofrece en conjunto el vehículo y el armamento.

El espectro de análisis solapa tanto ejércitos pertenecientes a la OTAN, con E.E.U.U. y Francia, como otros que no, como es el caso de Rusia. De este modo, se aborda tres de las principales potencias militares de la actualidad.

3.1.1. Vehículo americano JLTV con cañón de 30 mm

El JLTV (Join Light Tactical Vehicle, véase ilustración 4) fue diseñado y creado por la empresa Oshkosh Defense como sucesor del vehículo ligero Humvee dentro del Ejército de USA. Las primeras unidades fueron entregadas al ejército estadounidense en 2018 en una primera fase de un plan que acabará en 2040 con 55.000 unidades. Aunque el vehículo no está operativo oficialmente en el ejército de USA hasta la fecha, el JLTV ya ha sido probado por varias unidades americanas [15].

Este vehículo tiene diferentes versiones, no obstante, la que sirve de referencia es la dotada de una torre con un cañón M230LF de 30 mm y sistema automático de control de disparo EOS R400S-MK2 (Para más información véase anexo A).



Ilustración 4. JLTV con cañón de 30 mm

Fuente: Web Breaking Defense

En la tabla 1 se realiza un análisis DAFO de la alternativa tras el análisis de las características del vehículo y la torre que se muestran a continuación: [16] y [17].

- El cañón, testado en el helicóptero de ataque AH-64 Apache, tiene un gran rendimiento que se sustenta sobre su gran cadencia combinada con el tipo de proyectil que puede usar; 625 disparos por minutos usando proyectiles de 30 x 113 mm capaces de perforar blindajes con espesor de 25 mm. Además, la gama de tipos de proyectiles es extensa. Estas características le permiten ampliar su abanico de cometidos tácticos y su autonomía en cuanto a necesidad de apoyo.
- En lo que concierne a su autonomía operativa, la torre permite albergar 75 proyectiles listos para ser disparados, además de los 225 que las dimensiones internas del vehículo permiten. Esto proporciona una potencia de fuego medianamente suficiente para cualquier tipo de cometido.

- Respecto al peso total del vehículo con la torre, este asciende a 6.824 kg y la altura a 2.687 m. Como resultado, la movilidad del vehículo es aceptable debido a que su centro de masa no se desplaza significativamente. No obstante, la suma de alturas de vehículo y torre provocan un aumento de perfil, que reduce su capacidad de ocultación un 30% respecto de las dimensiones iniciales del propio vehículo.
- Por otro lado, la utilización de un sistema de estabilización⁷ en el cañón favorece la supervivencia del vehículo en caso de enfrentamiento. Además, facilita los cometidos del tirador. No obstante, en caso de fallo del sistema automático de disparo, el arma quedaría inutilizada debido a que no cuenta con un mecanismo manual de tiro. Este hecho crea una desventaja táctica notable ante posibles ataques electromagnéticos o ante un simple impacto directo en el sistema eléctrico. En ambos casos el cañón quedaría inoperativo.

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones elevadas del arma. • Dependencia del sistema electrónico. • Dependencia del sistema automático en tiro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ataques electromagnéticos. • Posibilidad de ser detectado.
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Cadencia (625 dpm) suficiente. • Amplia gama de proyectiles. • Sistema de estabilización óptimo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de munición OTAN. • Testado en unidades.

Tabla 1. Análisis DAFO del JLTV con el cañón de 30 mm

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Vehículo francés VBL con cañón de 20 mm

El VBL (Véhicule Blindé Léger, ilustración 5) es un vehículo ligero-protegido 4x4 diseñado por la empresa Panhard que se encuentra en servicio en el Ejército Francés desde el año 1990. Se han desarrollado múltiples configuraciones de este, de las cuales el prototipo armando con el cañón MK 20RH 202 de 20 mm es el que proporciona una referencia para el estudio del trabajo (Para más información del cañón véase el anexo B).



Ilustración 5. VBL con cañón de 20 mm

Fuente: Web Steelbeasts

Es de destacar, que este modelo fue descartado tras varias pruebas. Este hecho se debe a la baja estabilidad en movimiento que provocaba el conjunto de vehículo y torre. Así mismo la tabla 2 muestra sus puntos fuertes y débiles en un análisis DAFO extraído del siguiente estudio: [18] y [19].

- La principal ventaja que este tipo de cañón ofrece es la gran cadencia de disparo (800-1020 disparos por minuto). Esto se debe gracias a su doble correa de alimentación y su sistema de engarce del siguiente proyectil en la fase de retroceso. Este hecho proporciona una elevada potencia de fuego en cuanto a reiteración de fuego, reduciendo así el tiempo de reacción del enemigo en situación de combate degradada.
- Respecto al tipo de calibre, la torre usa una munición 20 x 139 mm OTAN, teniendo una amplia gama de tipo de proyectiles de este tipo.

⁷ Sistema de estabilización: sistema que permite mantener el objetivo fijado incluso en movimiento.

- En cuanto a sus dimensiones, el cañón mide 2.6 metros de largo respecto a los 3,8 metros del propio VBL. Este hecho reduce su capacidad de ocultación debido a que rompe el perfil del vehículo haciendo resaltar la forma del cañón. En relación con el peso, la torre completamente municionada se acerca a los 740 kg. Esto provoca un desplazamiento considerable del centro de masas del vehículo afectado a su estabilidad tanto en movimiento como en estático.
- Por otro lado, el retroceso del cañón es reducido en comparación con otros cañones, no obstante, debido a las dimensiones de la plataforma, los efectos del mismo retroceso repercuten considerablemente. Además, el cañón no cuenta con sistema de estabilización por lo que se dificulta aún más si cabe la eficacia de fuego efectivo en movimiento.

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> Estabilidad reducida en movimiento y en estático. No cuenta con estabilización de tiro. No cuenta con arma secundaria. 	<ul style="list-style-type: none"> El terreno condiciona enormemente su movilidad. No ha sido testado en Unidades ni en maniobras. Descartado por su estabilidad.
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> Cadencia elevada (hasta 1020 dpm). Amplia gama de proyectiles. Bajo retroceso. 	<ul style="list-style-type: none"> Prototipo con posibilidad de mejorar Disponibilidad de munición OTAN.

Tabla 2. Análisis DAFO del VBL con cañón de 20 mm

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Vehículo ruso Tiger GAZ-2330 con cañón de 30 mm

El Tiger fue diseñado por la empresa Military-Industrial Copany LLC (BMK) como vehículo multipropósito militar de alta movilidad. Este entró en servicio en las Fuerzas Armadas Rusas en el 2006, no obstante, otros ejércitos como el de China cuentan también con él. Su diseño modular ha permitido crear diferentes configuraciones, sin embargo, la que presta más información para el estudio del trabajo es la variante armada con el cañón Shipunov 2A72 de 30 mm, la ametralladora coaxial PKTM de 7,62mm y el sistema de control de fuego RCWS (Véase ilustración 6) (Para más información del cañón véase el anexo C).



Ilustración 6. Tiger GAZ-2330 con cañón de 30 mm

Fuente: Web ArmyRecognition

En cuanto a la configuración completa se destaca lo más relevante del prototipo en la tabla 3, obteniendo la información del siguiente estudio: [20] y [21].

- La cadencia del cañón 2A72 se encuentra entre los 200-880 dpm dependiendo del tipo de proyectil que se arme. Así mismo, este cañón puede usar varios tipos de proyectiles todos ellos del calibre soviético 30 x 165 mm. Como resultado, la configuración contiene una potencia de fuego elevada en comparación con otros vehículos ligero-protegidos. Además, la implementación de la PKTM de manera coaxial permite aumentar su rango de objetivos y, por ende, su capacidad de supervivencia. Otro aspecto que favorece contar con la ametralladora coaxial es la protección del tirador, al no tener éste que salir del vehículo para fijar objetivos.

- Respecto a su elevada potencia de fuego, en parte por el uso del calibre 30 x 165, esta provoca una fuerza de retroceso que se debe considerar, no solo para la reiteración de fuego sobre el mismo objetivo, sino también por los efectos físicos sobre la propia plataforma. Por ello, y aunque cuente con un sistema de control automático de fuego RCWS que permite hacer fuego en movimiento, los disparos eficaces se hacen de manera estática.
- En cuanto a su autonomía operativa, la torre tiene la capacidad de almacenar 200 proyectiles de 30 x 165 mm y 1000 cartuchos de 7,62 mm. Además, el municionamiento se hace desde el interior del vehículo. Todo ello favorece a aumentar la capacidad de fuego, de reacción y de supervivencia en situaciones de combate.
- En cuanto a sus dimensiones totales, este vehículo presenta un gran tamaño. Su altura asciende a 2,7 metros. Este hecho reduce de manera considerable su capacidad de ocultación en comparación con otros ligeros.
- Por último, el accionamiento del sistema de disparo de ambas armas solo se puede realizar de forma eléctrica.

Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia del sistema eléctrico. • Retroceso elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad a la hora de ser descubierto. • Exposición ante el enemigo si se busca un tiro reiterativo efectivo (posición estática). • Prioridad de los enemigos debido a su potencia de fuego. • Calibre soviético, no OTAN.
Fortalezas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> • Arma secundaria coaxial. • Gran cadencia de tiro. • Protección de la tripulación. • Estabilización de tiro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de objetivos amplios. • Capacidad de enfrentar vehículo blindados. • Prototipo en fase de desarrollo.

Tabla 3. Análisis DAFO del Tiger GAZ-2330 con cañón de 30 mm

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Conclusiones de los vehículos similares

Del análisis de las diferentes alternativas que presentaron E.E.U.U., Francia y Rusia se extrae una serie de conclusiones, entre ellas se destaca:

- Implementar una torre con un cañón de calibre mayor o iguales a 30 mm, produce serias dificultades a la movilidad y estabilidad del vehículo tanto por el peso que suma la torre al vehículo, como por el retroceso que genera el arma en la base de la plataforma al efectuar secuencias de disparos.
- Cuanto menor sea el calibre del cañón, mayor facilidad hay para que la cadencia de tiro del arma principal aumente.
- Los calibres mayores o iguales a 30 mm reducen su capacidad en cuanto a hacer fuego reiterativo efectivo sobre el mismo objetivo. El retroceso y la reentrada en batería afectan a la adquisición de objetivos, aumentando el tiempo empleado en volver a fijar un objetivo.

- Las dimensiones de la munición repercuten en la cantidad de proyectiles que un vehículo puede llevar. Por ello, el uso de proyectiles de 20 mm proporciona mayor lote de abordo que municiones de 30 mm.
- La dependencia absoluta del sistema eléctrico de disparo reduce la capacidad de reacción en situación degradada de combate.
- Implementar un arma secundaria, sea coaxial o no, aumenta la capacidad de combate. Dotar de un sistema de accionamiento mecánico-manual al arma principal ayuda a este hecho también.

Con este análisis se determina que la elección de una torre con un cañón de 20 mm tiene mayor proyección que aquellas con cañones de mayor calibre a la hora de implementar dicha torre sobre un vehículo ligero-protegido. Por otro lado, este análisis ha generado un primer sondeo superficial de requerimientos que se deben tener en cuenta en la propuesta.

3.2. Entrevista al personal de la ALOG 1

Por otra parte, se ha realizado una entrevista al grupo de especialistas de vehículo ligeros del tercer escalón perteneciente a la ALOG 1 (Entrevista en anexo D). Con dicha entrevista se pretende conocer la posibilidad del montaje técnico de la torre con cañón de 20 mm sobre el VAMTAC atendiendo a dimensiones, peso y estructura. Se debe desatacar que se ha optado por recurrir a la experiencia del Grupo de especialistas debido a la imposibilidad de realizar un estudio que se soporte mediante cálculos realizados sobre el ST-5, siendo la principal razón de este hecho la falta de medios y recursos disponibles. De dicha entrevista se destaca lo siguiente:

- La dimensión del techo del VAMTAC presenta suficiente espacio para montar una torre con un cañón, así mismo se tiene como antecedentes la configuración con la torre Mini Samon. Por tanto, el montaje de la torre es viable y tiene precedentes.
- La configuración interna del VAMTAC-ST5 permite el montaje del módulo central de la torre en cuanto a espacio se refiere. De esta manera, Conductor, Jefe de Vehículo y Tirador tendrían suficiente espacio para poder desarrollar sus cometidos.
- El ST-5 presenta una potencia de motor suficiente para mover hasta 8.500 kg, por tanto, la implementación de una torre no mermaría su movilidad en cuanto a la relación potencia-peso [10]. En cuanto a la potencia eléctrica, las baterías y el alternador del propio vehículo son susceptibles de alimentar tanto a la torre como al vehículo.
- La potencia del retroceso de este tipo de cañones, como son los de 20 mm o menos, no repercuten a la plataforma base del VAMTAC ST-5. El motivo principal es debido al elevado peso del VAMTAC sumado al corto recorrido del cierre produciendo un menor efecto del retroceso. A esto hay que añadir el desarrollo actual de los frenos de boca que hacen de este fenómeno menos problemático.
- En cuanto a su estabilidad estática y móvil, los actuales VERT son un claro ejemplo de que implementar material sobre este vehículo es posible. Además, las dimensiones de una torre con 20 mm pueden ser diseñadas con el perfil adecuado para que el vehículo no tenga inconveniente en su movilidad.

Tras los análisis derivados de los vehículos de otro país y la entrevista a la ALOG 1, se determina que la elección de una torre con cañón de 20 mm es la adecuada respecto a otras alternativas. Además, este apartado verifica el posible montaje técnico del prototipo.

Capítulo 4. Requisitos necesarios de la torre

Tras la elección de la torre con cañón de 20 mm, en este apartado se definen una serie de requisitos que la torre debe cumplir un vehículo táctico militar de Caballería, es decir, los requerimientos que determinan la viabilidad táctica del prototipo para la Caballería. Para ello, se ha lanzado un cuestionario a distintos Cuadros de Mando. Dicho cuestionario ha sido realizado por Sargentos, Tenientes, Capitanes y Teniente Coronel pertenecientes todos al RC «Lusitania» N.º 8. El número total de participantes fueron 10 CUMA,s. (Cuestionario completo en anexo E).

Del cuestionario se extraen los requisitos sobre la configuración del VAMTAC ST-5 con torre de 20 mm, basándose estos en la experiencia de cada uno de los Cuadros de Mando. Para ello, se ha buscado que la encuesta propicie información relevante respecto a las necesidades que deben ser cubiertas para que cada Jefe de Vehículo ejerza mando y control del prototipo, pero no solo de su vehículo sino de sus pelotones, patrullas o partidas⁸ [22] formados con esta configuración. De esta manera, tras un análisis de las respuestas se puede concluir lo siguiente:

- El calibre 20 mm proporciona la suficiente potencia de fuego para que las Pequeñas Unidades de Caballería puedan ejercer sus principales cometidos. Así mismo, la doctrina de combate de la Caballería se sustenta sobre fuego y movimiento sin ejercer acción alguna fuera del vehículo. Por ello, se precisa como vital que la torre cuente con un sistema de disparo tanto eléctrico como manual que se activen desde el interior.
- En cuanto a la cantidad mínima de munición que el prototipo debería portar, esta debería de ser de unos 500 proyectiles. Así mismo, también se determina que, de esos 500 proyectiles, entre 100 y 150 deben ser de uso inmediato.
- Los mínimos tipos de cargas con los que las municiones debe contar son: HEI, API y EX.
- El proceso de alimentación del arma debe ser fácil y sencillo, de manera que en situación de combate no genere inconvenientes al Cargador. Por otro lado, la munición de 20 mm debe poder ser adquirida sin restricciones logísticas, independientemente de que sea munición de instrucción o munición de combate. Por ello, la adquisición de la munición debe contar con el respaldo de los distintos tratados con la OTAN.
- Las características del campo de batalla tales como gran amplitud y profundidad demandan una rápida ejecución de las acciones. Es por ello, que implementar una torre no debe afectar a la movilidad, ocultación y estabilidad del vehículo.
- Las acciones en movimiento son comunes, por ello el mecanismo de tiro de la torre debe contar con un sistema de estabilización, proporcionando mayor efectividad y rapidez al Tirado durante el proceso de disparo.
- Es preciso dotar a la torre de un periscopio independiente para el jefe de vehículo debido a que proporcionaría una mayor vigilancia al permitir cubrir diferentes sectores entre Tirador y Jefe de Vehículo. Además, estos medios deben de contar con sistemas de visión nocturna (Cámara térmica o infrarrojos) y un medio de visión diurno dotado de 10 aumentos.

⁸ Organización operativa de pelotones (conformado por 2 vehículos), secciones (conformado por 4 Vehículos) y escuadrones (conformado por 13 vehículos) respectivamente.

- La adaptación de un arma secundaria coaxial debe tenerse en cuenta. Esto se debe a que es posible el enfrentamiento contra enemigo a pie, objetivos blandos y descubiertos de protección, siendo preciso del uso de armas de menor calibre para no repercutir innecesariamente en el lote de a bordo del arma principal. Además, la potencia de fuego aumenta con dicha arma secundaria.
- La relación movilidad-potencia de fuego que ofrece este prototipo es determinante para su viabilidad dentro de la Caballería. Actualmente, la configuración de este vehículo que ofrece mayor potencia de fuego es la que se constituye con la torre Mini Samsom la cual posee una AMP de calibre 12,7 mm. No obstante, no es suficiente si se buscan cometidos como la desorganización del enemigo o el combate de encuentro, misiones que entran dentro del rango de posibles cometidos de la Caballería [3].

Una vez procesada la información de los cuestionarios, se expone de forma clara y esquemática en un diagrama de verificación de requisitos, los cuales debe cumplir la torre (Véase figura 3). En dicho diagrama se puede observar como la torre de 20 mm tiene ciertos requisitos críticos, los cuales de no ser cubiertos ponen el peligro la viabilidad táctica del prototipo. Estos son: Mantener la movilidad, estabilidad y ocultación, munición de uso inmediato, sistema eléctrico y manual de disparo y cargas de la munición API, HEI y EX.

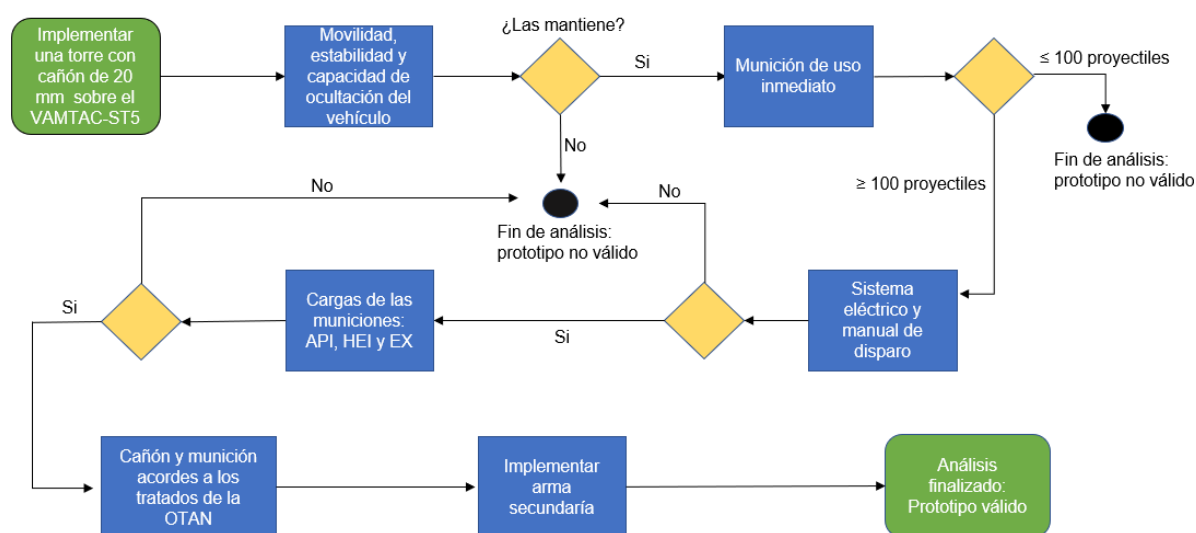


Figura 3. Diagrama de verificación de los requerimientos de los CUMA,s

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 5. Estudio de aspectos técnicos

En este apartado se van a analizar y preseleccionar tres componentes técnicos fundamentales para que la torre tenga la capacidad de asegurar la viabilidad táctica del prototipo. Dichos componentes técnicos han sido obtenidos al transcribir los requisitos críticos del capítulo 4. Los elementos son: el tipo proyectil, la clase de cañón y el periscopio. Esta transcripción se apoya en:

- Tipo de proyectil: Dentro del calibre 20 mm la diversidad es amplia, es por ello por lo que es preciso acotar y preseleccionar aquellos tipos de proyectil que permitan usar cargas API, HEI y EX.
- Clase de cañón: El tipo de cierre que lleva el cañón determina si el mecanismo de disparo permite un accionamiento eléctrico, manual o de las dos maneras.
- Periscopio: es preciso definir un tipo de periscopio que cumpla con las demandas extraídas: Visión nocturna y aumentos hasta x 10.

La valoración de las distintas alternativas se realizó en una reunión previa con el GECM donde se definió una preselección de aquellas opciones que actualmente estás disponibles y pasan los filtros de búsqueda.

5.1. Tipo de proyectil

El estudio de la selección de la clase proyectil guarda relevancia por tres razones: Asegurar que no se incumple con ningún tratado firmado por los países miembros de la OTAN respecto a la fabricación, la compra y adquisición del proyectil [23], determinar que cumplen con los requisitos previamente extraídos y reducir el abanico de estudio de los tipos de cañones. Además, establecer el tipo de proyectiles guarda relativa importancia respecto a la instrucción y adiestramiento de las tripulaciones, siendo esta un recurso crítico para el arma de Caballería en los ejercicios tácticos. Por ello, se debe asegurar que la munición seleccionada no conlleve dificultades de adquisición.

Por otra parte, la OTAN no cuenta con una gran variedad reglamentaría de municiones de 20 mm. La razón principal se remonta al desarrollo de los cañones de mayor calibre con los que se buscaba diferentes efectos, como los de neutralización y destrucción total del enemigo [24]. Por este motivo, el estudio se basa tanto en municiones oficiales como otras que no lo son. De este modo se preselecciona tres tipos de municiones y se presentan. Las municiones son las siguientes: Munición 20 x 102 mm, 20 x 110 mm y 20 x 128 mm. (Para más información véase el anexo F).

La denotación de las dimensiones del proyectil que va a seguir el estudio será la que OTAN determina como oficial en sus armas, por tanto, el estudio se basará en el sistema métrico decimal. (Véase figura 4). Así mismo, se muestra cierta información relevante de las municiones.

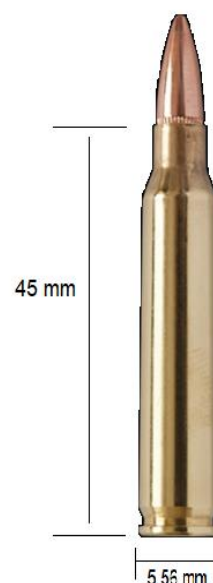


Figura 4. Munición 5,56 x 45 mm

Fuente: Web Fiocchi

➤ Munición 20 x 102 mm

Dentro de este calibre se encuentra una clase de munición que es empleada actualmente por la OTAN. Esta es la Vulcan o M50 (Véase figura 5). [25]–[27].

Características relevantes de la Vulcan: necesidad de accionamiento eléctrico, debido al fulminante que usa para su iniciación. No obstante, este no significa que solo pueda ser accionado eléctricamente, debido a que también hay varios sistemas de disparo manual los cuales producen una descarga eléctrica para percutir y disparar el cartucho.



Figura 5. Munición Vulcan o M50
Fuente: Web munición.org

➤ 5.1.2. Munición 20 x 110 mm

Actualmente la OTAN no cuenta con el servicio de este tipo de munición, no obstante, se ajusta a los tratados de aprovisionamiento y uso de municiones, los cuales permiten su adquisición. [28]

De este modo, la razón por la cual se preselecciona esta clase como posible opción son las siguientes: Su diseño permite aumentar la carga explosiva y propulsante en comparación con la munición 20 x 102. De esta manera los efectos sobre el objetivo son mayores, siendo así más efectivos contra blindajes pesados.



Figura 6. Munición 20 x 110
Fuente: Web munición.org

➤ 5.1.3. Munición 20 x 128 mm

Al igual que la munición 20 x 110 esta tampoco es utilizada oficialmente por la OTAN, pero sí que cumple con los tratados. Esta munición es destaca por: [29] y [30].

En cuanto al tipo de cargas, el proyectil usa: AEIT-AD⁹. Además, cuenta con: EX y EXT. Aunque parezca que no cumple a priori con la especificación de las dos cargas (HEI y API), debido a la cantidad de carga explosiva y propulsante que es capaz de incorporar la munición AEIT-AD, esta puede reproducir los efectos tanto de API como la de HEI. De esta manera, esta munición es efectiva sobre carros de blindaje ligero y, hasta cierto punto, sobre blindajes pesados. Además, su diseño ligeramente más alargado que la del 20 x 110, da lugar a una mayor fluidez del mecanismo de tiro, produciendo así menos interrupciones.



Figura 7. Munición 20 x 128
Fuente: Web munición.org

⁹ AEIT-AD: munición con Alto Explosivo Incendiario con Trazado y Autodestrucción

5.2. Clase de cañón

Como en el apartado de análisis de tipo de proyectil, en este se estudia las clases de cañones idóneas para el prototipo. De esta manera, estos cañones han sido determinados tras una reunión con el GECM. Así mismo, los siguientes cañones tratados albergan la posibilidad de ser armados con los proyectiles previamente seleccionados facilitando y encaminando la preselección de los mismos.

Los cañones identificados como óptimos son el M621 y el Oerlikon 5GT. Ambos presentan características similares y suficientes para cubrir las exigencias que se solicitan al prototipo del VAMTAC-ST5. Así mismo, las razones por las que han sido elegido son las siguientes: [31] y [32] .

- Cuentan con las dimensiones necesarias para el uso de municiones con calibre de 20 mm preseleccionadas.
- La cadencia que permite ambos cañones es superior a los 500 disparos por minuto, lo que permite obtener una potencia de fuego suficiente para el vehículo ligero. El aumento o la disminución respecto a los 500 disparos por minuto que el cañón proporciona, dependen del resto de sistemas y componentes de la torre sobre la que se implemente.
- Ambos cañones han sido utilizados anteriormente por otros ejércitos, de esta manera su efectividad ha sido probada y confirmada. Y actualmente, ambos cañones son usados por distintos ejércitos pertenecientes a la OTAN.
- La distancia efectiva de tiro tenso y por el segundo sector de los dos cañones se encuentra entre los 2000 y los 4000 metros.
- El mecanismo de disparo puede ser accionado mediante un sistema eléctrico o un sistema manual.

Por otro lado, cada cañón presenta características propias. Esto, al igual que los proyectiles, no determina una prioridad uno frente a otro. Las diferencias son las siguientes:

5.2.1. Cañón M621

El M621 es un cañón estándar OTAN desarrollado por la empresa Nexter. El objetivo principal de su desarrollo se basa en la dotación de potencia de fuego a vehículos ligeros y aeronaves de combate. No obstante, su aplicación se extiende a aquellos campos donde se requiera un cañón ligero y con bajo retroceso. Actualmente, el ejército de Rumania cuenta con los servicios de estos cañones, los cuales están instalados en los helicópteros Puma como parte de la torre de tiro Giat. (Véase ilustración 7).



Ilustración 7. Torre Giat con cañón M621
Fuente: Web Imfdb

En cuanto a sus especificaciones a destacar, se resalta la posibilidad de alimentar el cañón tanto por el lado derecho como el izquierdo. Con ello, la cantidad de munición de uso inmediato puede verse beneficiada, así como la labor del Cargador/Tirador.

En la siguiente tabla se puede observar las características más relevantes: [31].

Peso	49 Kg	Longitud	2,23 m	Velocidad	990-1,025 m/s
Cadencia	800 disparos/minuto	Carga de retroceso	12,5 Kg	Tipos de munición	HEI, API, EX y HESH

Tabla 4. Características del cañón M621

Fuente: Elaboración propia a partir de [31]

5.2.2. Cañón Oerlikon 5TG

El Oerlikon es un cañón fabricado en la Primera Guerra Mundial, de origen Suizo. Desde entonces su desarrollo ha continuado hasta la actualidad. La razón principal de su perpetuación es la relación potencia de fuego-tamaño, lo que permite a los ejércitos usar este tipo de cañón como arma antiaérea. Actualmente, el Ejército Argentino y la Armada Española cuenta con este cañón (Véase ilustración 8). Este cañón, ligeramente más pesado que el M621, cuenta con la ventaja de que está operativo actualmente en las FAS españolas. De este modo, se garantiza su efectividad y rendimiento.



Ilustración 8. Cañón Oerlikon 20 mm

Fuente: Web Guerrasposmodernas

En la siguiente tabla se observa ciertas características relevantes: [32].

Peso	66,7 Kg	Longitud	1,93 m	Velocidad	860 m/s
Cadencia	500 disparos/minuto	Carga de retroceso	16 Kg	Tipos de munición	HEI, API, EX

Tabla 5. Características del cañón Oerlikon 5GT

Fuente: Elaboración propia a partir de [32]

5.3. Periscopio

Respecto a la instauración de un periscopio independiente para el Jefe de Vehículo, tras un análisis de las posibles alternativas, se presenta como opción: la implementación del periscopio panorámico con estabilización del VRCC (Vehículo de Reconocimiento de Combate de Caballería) (Véase figura 8). Esta elección se fundamenta en el consenso tras una reunión con el GECM, donde se estimó que este periscopio cumple con todos los requisitos expresados por los CUMA,s en el cuestionario. Además, su dotación actual en la FAS españolas facilitaría su implementación. Así mismo, las razones de su elección se sustentan en los siguientes motivos: [33].

- Sus características técnicas cubren las peticiones de los CUMA,s. Estas son:
 - Contar con la capacidad de x 10 aumentos para la localización de objetivos, así como para la vigilancia pasiva. Este hecho permite mantener la distancia necesaria del vehículo respecto a la zona probable de estancia del enemigo, aumentando así la capacidad de supervivencia del propio vehículo.
 - Disponer de elementos auxiliares para la visión nocturna, en este caso el periscopio cuenta con un IL (intensificador de luz) que permite su empleo nocturno.
 - Estar protegida por un escudo balístico que protege la parte exterior del dispositivo.
 - Capacidad rotatoria de 360°, de este modo se facilita el cometido de vigilancia y la asignación y designación de objetivos al tirador.
- El módulo de visión y sus partes que lo constituyen favorecen el montaje en la parte del JV sobre el VAMTAC-ST5. Por otra parte, el módulo central y el módulo de las ópticas permiten de forma efectiva el control total del módulo superior. Así mismo, el mantenimiento de dichas partes se determina factible al estar formado de tal manera.
- Su precedente en el VRCC determina su fiabilidad y su eficacia.

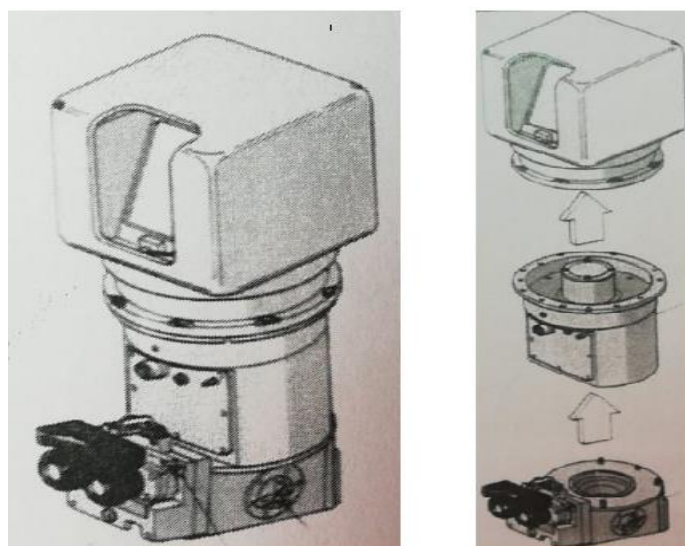


Figura 8. Periscopio del VRCC

Fuente: A partir de [30]

Capítulo 6. Análisis de resultados y propuesta

Tras el análisis de los distintos aspectos tanto técnicos como tácticos, se corrobora la viabilidad de implementar una torre automática con un cañón de 20 mm sobre el ST5. De este modo, en este apartado se pretende dar finalidad al análisis del prototipo mediante la propuesta de una torre. Así mismo, las especificaciones técnicas preseleccionadas y analizadas: tipo de proyectil y clase de cañón, determinan una serie de requisitos que la torre debe albergar. De esta manera, se plantean dos opciones: la fabricación de una torre con dichos requisitos o la búsqueda y selección de una torre ya en el mercado. Por la complejidad que supone la fabricación de una torre desde cero, se ha estimado oportuno que la opción de implementar una torre ya fabricada es la adecuada.

Previamente, cabe destacar que tras una reunión con GECM y un análisis de las distintas exigencias, se ha efectuado un breve estudio del mercado de aquellas torres que satisfacen los requisitos preseleccionados. Como resultado, se propone inicialmente las siguientes torres: ARX-20, P-20 y Sentinel-20.

La elección de estas tres posibles torres se fundamenta en tres motivos principales. La primera razón es que todas ellas cumplen o son capaces de cumplir con los requisitos técnicos determinados en el diagrama de verificación de requerimientos (Véase figura 3) y, por consiguiente, también las exigencias tácticas. La segunda razón se basa en que las tres torres utilizan los elementos preseleccionados, es decir, tanto los proyectiles estudiados, como los cañones analizados. Y el último motivo se apoya en los precedentes y sus desarrollos previos que cada torre guarda.

Por otro lado, las características de las distintas torres propuestas son en algunos campos completamente diferentes (Véase tabla 6) [34]–[36]. Sin embargo, esto no significa que una sea mejor propuesta que otra. Por ello, la elección de una de ellas debe fundamentarse en un análisis exhaustivo. De esta manera y para discernir la torre adecuada, se utiliza el método AHP.

Para más información de las torres véase los anexos G-I.




Torres automáticas	Movilidad, estabilidad y ocultación		Tipo de cañón	Clase de munición de uso		Nº de proyectiles de uso inmediato	Cadencia (dpm)	Armas auxiliares integradas	País de fabricación
	Elevación y depresión (°)	Peso (kg)		Calibre (mm)	Tipo				
 ARX-20	60 y -15	270	M621	20 X 102	HEI, API y EX	140	800	Si	Francia (Nexter)
 P-20	30 y -15	170	M621	20 X 102	HEI, API y EX	100	750	NO	Francia (Nexter)
 SENTINEL-20	60 y -20	600	Oerlikon 20	Compatible con: 20 x110 y 20 x128	HEI, API y EX	200	500	Si	España (Escribano)

Tabla 6. Características relevantes de las torres

Fuente: Elaboración propia a partir de [34]–[36]

6.1. Metodología AHP

Este método permite tomar una decisión respecto a una prioridad o jerarquía que se determina según unos criterios. De este modo, se puede visualizar cuál es la opción que genera mayor impacto en la búsqueda de una solución a un problema multicriterio. Con este proceso la resolución final se ajusta a las necesidades del momento. El proceso que sigue esta metodología es la siguiente: [37] y [38].

➤ 1º Etapa: determinar la estructura jerárquica.

Esta etapa sirve para desglosar de manera crítica los componentes relevantes del problema y de este modo construir la estructura jerárquica. Dicha estructura está conformada por: Objetivo, criterios y las distintas alternativas. Así mismos, estos niveles quedan relacionados atendiendo al siguiente criterio: las alternativas, nivel bajo, dependen de los criterios, nivel intermedio, y estos a su vez son determinados por el objetivo, nivel alto. Como resultado se debe obtener una jerarquía completa, libre de aspectos no relevantes y sin que sea redundante.

➤ 2º Etapa: valoración de los elementos.

En esta etapa se realiza una confrontación de los criterios que se han fijado anteriormente. La confrontación se basa en la comparación de los criterios. Dicha comparación, de un elemento frente a otro, se someterá a juicio crítico para poder denotar según la escala de Saaty la importancia relativa de cada criterio. El resultado de esta etapa es una matriz de comparaciones pareadas.

➤ 3º Etapa: Priorización y síntesis.

Tras el resultado del paso anterior, se realiza la matriz normalizada de comparaciones, la cual da los pesos (W) de los distintos criterios y define cuál de ellos tiene más relevancia. Así mismo, para verificar que los resultados tengan coherencia, se calcula la Razón de Consistencia (RC), donde un $RC < 0,1$ determina una adecuada coherencia y consistencia. A continuación, se vuelve a efectuar matrices de comparaciones, pero esta vez las comparaciones pareadas se realizan con las alternativas y respecto a los distintos criterios. Una vez obtenidos todas las ponderaciones, se presentan en una matriz de decisión. Dicha matriz muestra los valores de priorización de las alternativas tras realizar el promedio y las ponderaciones correspondientes.

Para una información completa del proceso véase el anexo J.

6.2. Propuesta a través de la metodología AHP

Una vez conocido las etapas del método, en este apartado se ponen en práctica los pasos con la finalidad de poder realizar una adecuada elección de la torre de 20 mm de entre tres seleccionadas.

En primer lugar, se aborda la 1º etapa: realización de la estructura jerárquica. Para ello, primero se identifican los distintos niveles y sus elementos. Estos quedan representados en la figura 9, dando como resultado la estructura jerarquizada: el nivel más alto es el objetivo (Torre automática de 20 mm), seguido de los criterios (Calibre, Elevación y depresión, Cadencia de tiro, Peso y Munición de uso inmediato) y por último las alternativas (ARX-20, P-20 y Sentinel-20).

En cuanto a la definición de los criterios, estos vienen determinados por los requisitos que se han extraído del cuestionario, estudios de vehículos extranjeros y reunión con el GECEM. Así mismo, cabe destacar que no todos los requisitos se han transcritos a criterios. Esto se debe a que varios requisitos son comunes a las tres torres que se han seleccionado.

Estos requisitos en común son las siguientes: Estabilización de tiro, sistema de control automático de tiro y tipo de carga que puede disparar (Véase tabla 6 y anexos G-I).

Por otro lado, es de resaltar que el tipo de cañón no se ha tenido en cuenta como criterio debido a que el tipo de calibre y la cadencia definen explícitamente el tipo de cañón.

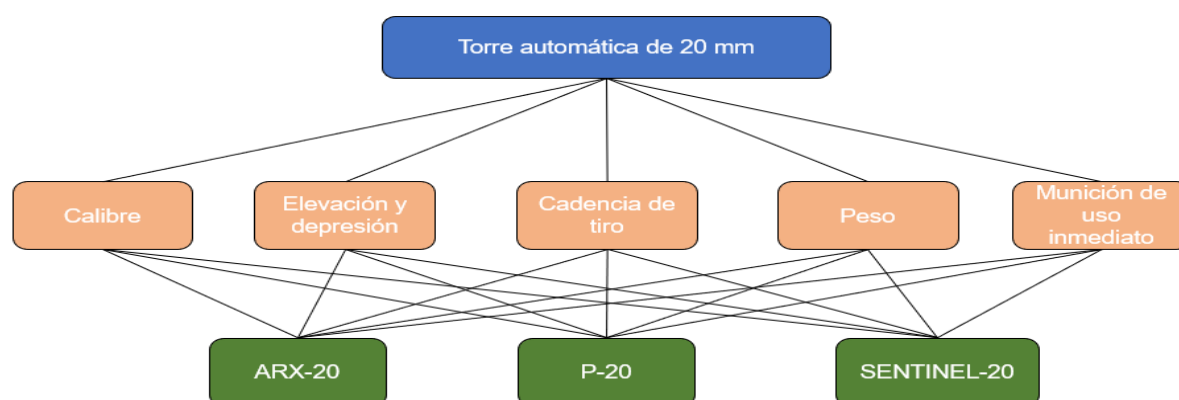


Figura 9. Estructura jerarquizada

Fuente: Elaboración propia

Tras la identificación de los criterios, se realiza la ponderación de importancia de estos pasando a la 2ª etapa: Valoración de los elementos. Para ello se sigue la escala de Saaty (en anexo J). En esta etapa, la elección de la ponderación de las comparaciones pareadas sigue los requisitos determinados por los cuestionarios y las reuniones con el GECM. De esta manera, se define como principal juicio de comparación de los criterios la anteposición de la potencia de fuego levemente por encima de la capacidad de vigilancia y la movilidad. Con esta regla, y con la ayuda del GECM, se obtiene la siguiente matriz de comparación de criterios (Véase tabla 7).

Criterios	Peso	Elevación y depresión	Calibre	Cadencia	Muni. Inmed.
Peso	1	1/3	1/2	1/3	1/4
Eleva. y depre.	3	1	3	2	1/2
Calibre	2	1/3	1	1/4	1/4
Cadencia	3	1/2	4	1	2
Muni. Inmed.	4	2	4	1/2	1
Total	13,00	4,17	12,50	4,08	4,00

Tabla 7. Matriz de comparaciones pareadas de criterios

Fuente: Elaboración propia

Aunque la valoración se realiza según la escala de Saaty, no se emplea toda la escala y se usan valores intermedios debido a que no se considera ningún criterio fuertemente más importante que otro. De esta manera, se comparan los criterios de la columna azul respecto a los de la fila azul.

Con el resultado anterior, se pasa a la 3ª etapa: priorización y síntesis. En ella y tras realizar la matriz normalizada de la matriz de comparación (cálculos en anexo K), se obtienen los pesos (W) de cada criterio. En relación con los pesos (Véase tabla 8) se observa que el criterio de cantidad de munición inmediata se fija como el criterio más relevante a la hora de seleccionar la torre. Así mismo, el orden de mayor a menor relevancia de los criterios es el siguiente: Cantidad de munición inmediata, cadencia de tiro, elevación y depresión, calibre de la munición y peso de la torre en su conjunto total. De esta manera, se puede comprobar como la potencia de fuego sigue teniendo una cierta importancia, manteniendo así la regla previamente fijada.

Criterios	Peso	Eleva. y depre.	Calibre	Cadencia	Muni. Inmed.
Pesos(W)	0,07	0,27	0,09	0,28	0,30

Tabla 8. Pesos (W) de los criterios

Fuente: Elaboración propia

Para poder comprobar que los pesos de los criterios, y a su vez su importancia, guardan una relación lógica y razonable se calcula la razón de consistencia (CR). Esta debe tener un valor menor a 0,1. En este caso la $CR = 0,095$ (Cálculos en anexo K), por tanto, el criterio de ponderaciones tiene consistencia.

Una vez comprobado que los criterios y sus pesos son contundentes, la metodología continúa con la elaboración de las matrices de comparaciones pareadas de las alternativas según los criterios y sus correspondientes cálculos de sus razones de consistencias. De esta manera, y con todos los cálculos realizado, se llega al paso final donde se obtiene la matriz de decisión (Véase tabla 8).

Para ver los pasos completos véase el anexo K.

Alternativas	Criterios					Priorización
	Peso	Eleva. y depre.	Calibre	Cadencia	Muni. Inmd.	
ARX-20	0,29	0,46	0,25	0,58	0,33	0,427
P-20	0,65	0,08	0,25	0,35	0,10	0,214
SENTINEL-20	0,06	0,46	0,50	0,07	0,57	0,359
Pesos (W)	0,07	0,27	0,09	0,28	0,30	

Tabla 9. Matriz de decisión

Fuente: Elaboración propia

Esta matriz de decisión muestra la priorización de una torre respecto a las otras según la ponderación final de todas las alternativas y atendiendo, al mismo tiempo, a los criterios. De este modo, se observa como la torre ARX-20 con un 0,427 obtiene una preferencia sobre la torre Sentinel-20 con un 0,359 y respecto a la torre P-20 con un 0,214.

Respecto a al resultado de la metodología AHP, cabe destacar que la elección de la torre ARX-20 está respaldada por una serie de motivos:

- Se trata de una torre de características notables (Véase tabla 6) para cumplir con los cometidos propios de la Caballería. Además, cabe destacar que la torre cuenta con los siguientes elementos auxiliares:
 - Sistema de control de armamento remoto (RCWS). Dicho sistema es el utilizado actualmente por la mayoría de las unidades de la OTAN en sus distintos armamentos, como torres, misiles contra carros o misiles guiados.
 - La torre cuenta con un periscopio para el tirador, facilitando de este modo el tiro a cubierto del mismo y la vigilancia de los sectores en unos 360°.
- Cuenta con una protección balística y un sistema de estabilización, lo que permite aumentar la capacidad de supervivencia de la propia torre.
- La empresa que la desarrolla es Nexter, una sociedad civil que cuenta con una gran experiencia respecto a material militar. Su colaboración con los ejércitos pertenecientes a la OTAN facilitaría el desarrollo del prototipo, así como la posibilidad de hacer efectivo su incorporación al ET español.

Como se ha ido determinado a lo largo del análisis, la torre ARX-20 cumple técnicamente los requisitos para su implementación sobre la plataforma VAMTAC-ST5, así mismo también, cubre los requisitos determinados en el diagrama de verificación de requisitos (Véase figura 3) para ser capaz de cumplir con los aspectos tácticos derivados de los cometidos de la Caballería.

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, cabe destacar que dicha torre fue presentada por la empresa UROVESA sobre el mismo VAMTAC en el año 2017. No obstante, la imposibilidad de establecer contacto con dicha empresa para conocer el estado de desarrollo en el que se encontraba la propuesta, aun utilizando todas las vías posibles, deja esta información aun lado del presente proyecto. Además, la implementación de ese prototipo a las FAS es nula debido a que dicho vehículo fue expuesto en la feria INDEX como un avance comercial. De este modo las publicaciones expuestas delimitan al prototipo presentado por UROVESA como una campaña comercial. Sin embargo, este punto refuerza y justifica la realización de este trabajo en dos aspectos: [39]

- Se observa que empresas de gran entidad han encontrado una necesidad que solventar para los ejércitos. Este hecho se debe principalmente a la mayor utilización de las unidades en zonas urbanizadas, donde los vehículos con grandes dimensiones quedan limitados, en cuanto a movilidad, por las anchuras de las calles y avenidas.
- Aunque el trabajo se centre en determinar cuál de las alternativas podría ser la más adecuada para la Brigada Paracaidista, dicho desarrollo por parte de UROVESA justifica la viabilidad técnica del prototipo expuesto en el presente trabajo.

Capítulo 7. Papel de la nueva configuración del ST-5 en la Brigada Paracaidista

Tras identificar la posible configuración del VAMTAC-ST5 con la torre ARX-20, en este apartado se propone una posible organización del prototipo dentro de las unidades del ET y de forma más concreta, dentro del RC «Lusitania» N.º 8. De este modo, se plantea una posible solución a la problemática causada por las restricciones de dimensión y peso de carga de las aeronaves que, inevitablemente, determinan los medios a utilizar y la organización a adoptar para el despliegue a la hora del lanzamiento de la Caballería. De esta manera, este prototipo ayudaría a fijar el papel a desarrollar por parte de la Caballería dentro de la Brigada Paracaidista en las operaciones aerotransportadas. Cabe destacar que este tipo de operaciones constituyen una de las principales respuestas iniciales ante una situación que exija una rápida actuación en territorios cuyo escenario desvirtúe otras opciones de despliegues.

En cuanto a las operaciones aerotransportadas, estas combinan diferentes acciones en distintas fases dentro de una maniobra completa. La primera acción o inserción es la de un escalón avanzado (EAV), la cual conlleva la misión de obtener información y dar apoyo y seguridad a la proyección. El escalón de asalto (EAS), en una segunda fase, ocupa las zonas claves para la toma del objetivo y facilita el despliegue del escalón de refuerzo (ER). Este último escalón despliega en una última fase a través de lanzamiento paracaidista o aterrizaje [40].

Dentro de estas fases, la ubicación de la nueva configuración del VAMTAC-ST5 estaría dentro del ER, encuadrado operativamente en un Grupo de Caballería Aerolanzable (GCA). La razón principal de esta organización se basa en que constituiría una unidad idónea para ejercer los cometidos propios del ER debido a la combinación de capacidades (potencia de fuego, movilidad y protección) y su efecto sobre la moral de fuerzas propias y enemigas. Así mismo, estas unidades aportarían velocidad e impulso al avance y facilitarían el enlace entre unidades mediante la seguridad al frente de las mismas. De esta manera, se obtendría una respuesta eficaz ante las vulnerabilidades propias de una unidad ligera sobre el TO, como son las acciones de vehículo o carros enemigos y la reducida movilidad táctica de las unidades de a pie, como la infantería ligera.

No obstante, aunque se propone como principal despliegue del prototipo el ER, la combinación de aptitudes doctrinales de la Caballería con la nueva configuración del ST5, permiten que este vehículo puede ejercer y ejecutar los cometidos del EAV y el EAS de forma adecuada.

Por otro lado, cabe destacar, que en aquellas ocasiones donde el GCA conformado por el prototipo ST5 sea empleado en el marco de operaciones aerotransportadas, la inteligencia constituiría una pieza fundamental. Con esto, se pretende solventar las distintas problemáticas que ponen cierta inviabilidad táctica al proyecto. En el siguiente listado se nombran algunos problemas que los CUMA,s mostraron en el cuestionario. Sin embargo, todo ello se resuelve con la actuación de inteligencia, quien aportaría información precisa para determinar si su despliegue es adecuado.

- Escasa potencia de fuego contra Carros de Combate de blindaje pesado.
- Escasa protección contra la potencia de fuego de los carros de los enemigos.
- Menor autonomía en comparación con los Carros de Combate actuales.
- Movilidad reducida en terreno abrupto o escarpado.

Con este apartado se pretende dar una visión real de su posible aplicación del prototipo dentro de las operaciones aerolanzables. Por ello, se plantea inicialmente un Escuadrón de Caballería Aerolanzable (Figura 11) a partir del cual se podría llegar a formar el GCA:

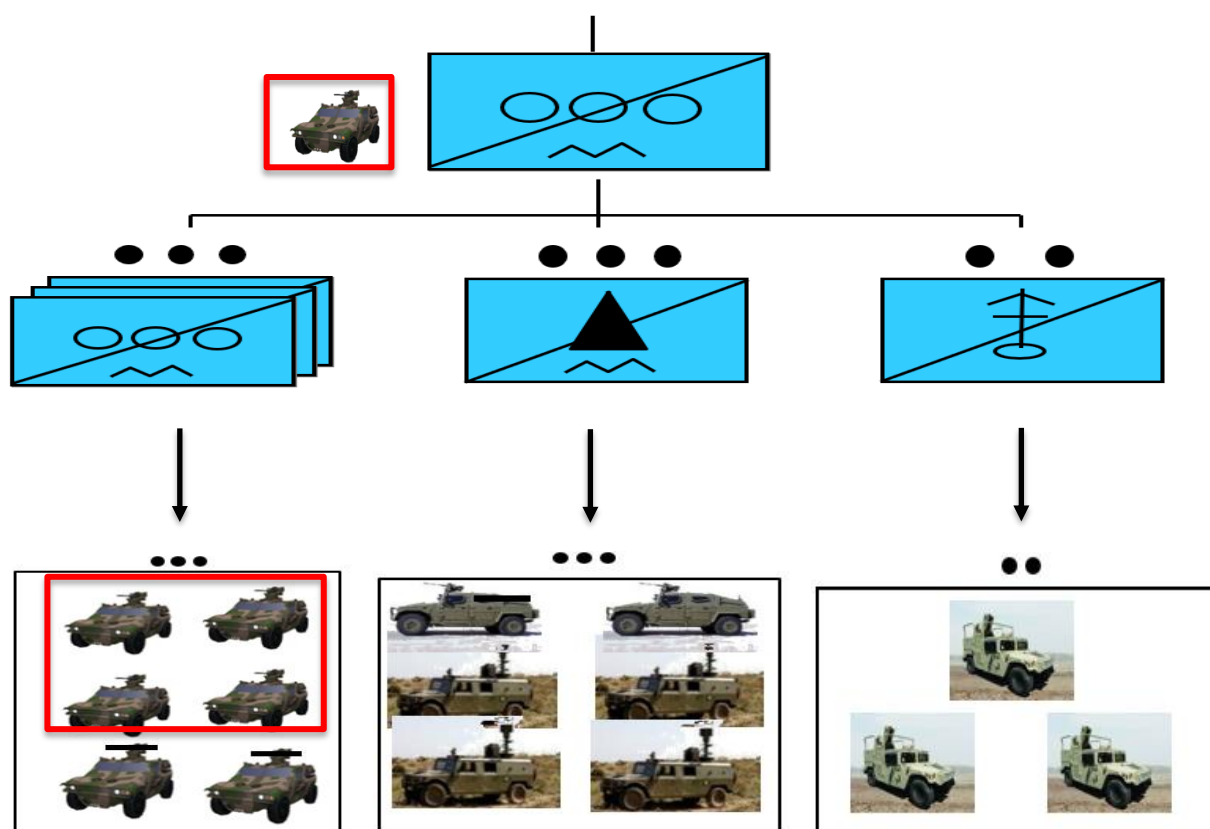


Figura 11. Propuesta de Escuadrón de Caballería Aerolanzable

Fuente: Elaboración propia

Esta propuesta se lanza tras la recepción de varias conferencias realizadas por diferentes cuadros de mandos en el RC «Lusitania» N.º 8, en las cuales se plantean distintos organigramas de una posible unidad de Caballería Aerolanzable.

En cuanto al propio organigrama, queda destacado en rojo la colocación del nuevo VAMTAC-ST5. Se puede observar que, según esta propuesta, un Escuadrón Aerolanzable contaría con 13 prototipos, siendo estos acompañados por el resto de los vehículos ligeros capaces de complementarse entre sí y aportando el resto de las capacidades necesarias para un Escuadrón: protección contra carro y vigilancia. Cabe destacar, también, la siguiente relación en cuanto al prototipo:

- Un prototipo VAMTAC ST-5 para el jefe del Escuadrón.
- Tres prototipos VAMTAC ST-5 para los tres jefes de las secciones.
- Nueve prototipos VAMTAC ST-5 distribuidos en las tres secciones, para jefes de pelotones y de vehículo.

En el siguiente cuadro (Véase tabla 10), se puede observar la relación directa entre medios y número de medios con las diferentes unidades que conformar la propuesta del Escuadrón Aerolanzable.

Escuadrón Aerolanzable (+1 ST5 con torre de 20 mm)			
Unidades	Medios	Número de medios	
Sc. ligero acorazada x3	ST5 con torre de 20mm y Ligero contracarros	ST5 con torre de 20 mm 12	Ligero contracarros 6
Sc. de exploración y vigilancia	VERT y Ligero con AMP	VERT 4	Ligero con AMP 2
Pn. de morteros	Ligero porta-mortero	3	

Tabla 10. Relación de medios del Escuadrón Aerolanzable

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 8. Conclusiones

La reorganización del RC «Lusitania» N.º 8 dentro de la Brigada «Almogávares» VI paracaidista en el año 2017, ha destapado la complicada situación de las posibilidades de la Caballería en las operaciones aerolanzables y aerotransportadas. Esto se debe a que las dimensiones y las capacidades de carga de las actuales aeronaves son insuficientes para facilitar los despliegues mediante lanzamiento de los actuales carros y vehículos de Caballería. Por ello, y en aras de solventar dicho problema, se ha iniciado la búsqueda de un nuevo vehículo que combine capacidades para desarrollar los cometidos propios de la Caballería con la posibilidad de ser lanzado.

Como resultado de esta búsqueda, se propone una nueva configuración del VAMTAC ST-5 con una torre ligero-protegida con un cañón automático de 20 mm a modo de solución. El presente trabajo desarrolla el análisis de la implementación de la nombrada torre sobre el ST-5, teniendo presente la obligación de ser capaz de ejecutar los cometidos de la Caballería. De esta manera y tras el estudio, se establece como principal conclusión la apta posibilidad del prototipo referente al montaje técnico y al campo táctico por los motivos siguientes:

- Respecto al montaje del conjunto vehículo-torre:
 - La elección del VAMTAC ST-5 como plataforma base es la idónea. Esto se apoya en tres fundamentos. En primer lugar, la potencia de su motor permite la implementación de elementos externos sin reducir su movilidad. De este modo, la plataforma base que pesa 3 toneladas iniciales puede llegar a soportar y mover hasta 8 toneladas. El segundo motivo es su polivalente chasis, el cual facilita el montaje de diversas configuraciones, allanando de este modo la instalación de la torre. Por último, la pertenencia a la empresa UROVESA, la cual colabora estrechamente con las FAS españolas, favorece su desarrollo y garantiza la fiabilidad del producto, ocurriendo lo mismo con la torre ARX-20 correspondiente a la empresa Nexter perteneciente a Francia, país miembro de la OTAN. Además, el ST-5 es determinado con el vehículo adecuado para ser proyectado por la BRIPAC según el trabajo fin de grado del Alférez Antonio López Añón.
 - La elección de un cañón de 20 mm es la indicada para el VAMTAC-ST5 debido a que el retroceso de su disparo no repercute a la estabilidad y movilidad del vehículo. Así mismo, su posibilidad de montaje técnico se fundamenta en: sus dimensiones, su peso y su configuración interna y externa.
- En cuanto al campo táctico, las especificaciones de la torre ARX-20 cumplen con los requisitos expuestos a lo largo del trabajo:
 - Las dimensiones de la torre no afectan a la movilidad, la estabilidad y la capacidad de ocultación del vehículo.
 - La capacidad de munición de lote de a bordo, según las dimensiones de los proyectiles y de la zona de carga del VAMTAC-ST5, rondaría los 500 proyectiles, permitiendo tener una autonomía logística apta. Así mismo, la torre ARX-20 permite una capacidad de 140 proyectiles de uso inmediato lo que hace que la potencia de combate sea suficiente.
 - La munición de calibre 20 x 102 mm admite el uso de cargas API, HEI y EX, lo cual permite asegurar los resultados que se pretenden conseguir según los propósitos de las Unidades de Caballería.
 - La capacidad de tiro automático estabilizado que ofrece la torre favorece el fuego reiterativo efectivo. Así mismo, se puede sumar la posibilidad de tiro manual y de implementar una ametralladora coaxial. Como resultado, se presenta una potencia de combate suficiente para las Unidades Caballería.

En cuanto a la viabilidad económica, el presente trabajo no estudia este campo debido a la falta de información de los precios. La razón de este hecho se basa en el estudio de prototipos y material delicado. De este modo, los contratos con las distintas empresas se guardan de forma clasificada.

En conclusión, la implementación de la torre de 20 mm ARX-20 sobre el VAMTAC le permite alcanzar al prototipo, de forma individual y con la oportunidad adecuada, los cometidos propios de la Caballería. Así mismo, las características del conjunto completo del prototipo favorecen a la continuidad de la Caballería como el Arma del movimiento rápido. Además, implantar esta nueva configuración como un vehículo aerolanzable de Caballería proporcionaría una seña de identidad a esta especialidad fundamental, pero de forma más concreta, al RC «Lusitania». De este modo, la especialización integral del prototipo dentro de la Caballería Paracaidista alejaría las diversas intrusiones de otras armas en sus cometidos.

Por otro lado, la propuesta del emplazamiento del prototipo dentro de una posible organización de Escuadrón Aerolanzable presenta una posible solución a la situación del RC «Lusitania» dentro de la BRIPAC. Aunque en dicho organigrama se exponen vehículos no desarrollados aún, como son el caso de los ligeros porta morteros, la propuesta pretende dotar de todas las capacidades que tiene un Escuadrón ligero acorazado reglamentario actual. No obstante, de ello se puede concluir que las FAS españolas deberían desarrollar nuevos medios para que la Caballería Paracaidista pudiera ejercer adecuadamente sus cometidos en toda su totalidad. En definitiva, aunque el prototipo cumpla las necesidades tácticas que se le exigen a un vehículo de Caballería: movilidad, flexibilidad, potencia de fuego, protección y, en este caso, ser aerolanzable, el estudio del prototipo VAMTAC-ST5 con torre de 20 mm no es suficiente para poder dotar de todas las capacidades al RC «Lusitania» de forma colectiva.

8.1. Líneas futuras

El desarrollo del trabajo ha generado nuevos posibles proyectos con la finalidad de complementar al mismo. De este modo, en la siguiente lista se enumeran una serie de posibles líneas futuras:

- Estudio de la viabilidad técnica de la implementación de una torre de 20 mm sobre el VAMTAC-ST5.
- Estudio de una guía de instrucción de los puestos tácticos de la configuración del VAMTAC-ST5 con torre de 20 mm.
- Desarrollo de manual de taller para mantenimiento de 1º y 2º escalón de la configuración del VAMTAC-ST5 con torre de 20 mm.
- Reconfiguración interna del VAMTAC-ST5 con torre de 20 mm.
- Estudio de implementación de elementos auxiliares sobre la torre ARX-20.

Capítulo 9. Bibliografía

- [1] Cortes Generales, «*Artículo 8. de la Constitución Española*», Const. Española, p. 7, 1978.
- [2] Ministerio de defensa, «*Punta de lanza de la evolución del ejercito*», Revista española de defensa, p. 68, 2018.
- [3] Mando de adiestramiento y doctrina, «*AGM-CM-027. Combate de la Caballería*», España, 2017.
- [4] Mando de adiestramiento y doctrina, «*El conflicto armado asimétrico*», pp. 1-5, 2005.
- [5] Empresa Rafael, «*Technical Specifications of Samson RWS Family*», Catalogo Web Rafael n.º 972.
- [6] Mando de adiestramiento y doctrina, «*DO1-001. Empleo de la fuerza terrestre (3.ª edición)*», 2004.
- [7] Tecol. Carlos Ruiz, «*Funciones logísticas abastecimiento, mantenimiento y transporte*», Apuntes de Logista de la Defensa.
- [8] ASIME, «*La gallega Urovesa suministra casi 140 vehículos militares a Portugal*», Noticia de portada, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://asime.es/la-gallega-urovesa-suministrara-casi-140-vehiculos-militares-portugal-60-millones-euros/>. [Accedido: 11-Sep-2019].
- [9] Antonio Lopez Añón, «*Estudio para la adquisición de un Vehículo Aerotransportable de Exploración de Caballería*», Trabajo fin de grado, 2017.
- [10] UROVESA, «*Vehículo de Alta Movilidad Táctico, High Movility Tactical Vehicle*», Catálogo VAMTAC, 2014.
- [11] Mando de adiestramiento y doctrina, «*MT-013. URO ST5 Bivalente Manual de Taller*», 2018.
- [12] Departamento de Comunicación del Ejército de Tierra, «*Unidades, Centros y Organismos*», Página Web Ejercito de Tierra, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.ejercito.mde.es/unidades/index.html>. [Accedido: 15-Sep-2019].
- [13] Departamento de táctica y ciencias y técnicas del tiro, «*Organización del Arma de Caballería*». Apuntes didácticos de la Academia de Caballería, 2014.
- [14] Mando de adiestramiento y doctrina, «*PD1-001. Empleo doctrinal de las Fuerzas Terrestres*», 2011.
- [15] Sydney Freedberg Jr., «*Gun Truck: Oshkosh Unveils 30mm Chaingun JLTV for Army Recon*», Web Breaking Defense, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://breakingdefense.com/2016/09/gun-truck-oshkosh-unveils-30mm-chaingun-jltv-for-army-recon/>. [Accedido: 15-Sep-2019].
- [16] J. M. Navarro, «*Fabricación a ritmo completo del JLTV para el Army*», Web Defensa, 2019.
- [17] Empresa EOS, «*R400S-Mk2*», Catálogo Web Electro Optics Systemns, 2019.

- [18] «*Subsystems/cannon/RH-202*», Web Weaponsystems, 2002. [En línea]. Disponible en: <https://weaponsystems.net/weaponsystem/II04 - Rh-202.html>. [Accedido: 16-Sep-2019].
- [19] «*VBL Panhard 4x4 Ligth armoured vehicle*», Web Army Recognition, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.armyrecognition.com/french_army_france_wheeled_armoured_vehicle_uk/vbl_panhard_light_wheeled_armoured_vehicle_technical_data_sheet_information_description_pictures_uk.html. [Accedido: 16-Sep-2019].
- [20] «*Subsystems/cannon/Shipunov 2A42*», Web Weaponsystems, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://weaponsystems.net/weaponsystem/II04 - 2A42.html>. [Accedido: 18-Sep-2019].
- [21] «*VPK from Russia has designed new 30 mm remote-controlled weapon*», Web Army Recognition, 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.armyrecognition.com/august_2016_global_defense_security_news_industry/vpk_from_russia_has_designed_new_30mm_remote_controlled_weapon_station_for_or_tigr_4x4_armored_tass_12608163.html. [Accedido: 19-Sep-2019].
- [22] Mando de adiestramiento y doctrina, «*Organización de la Caballería*», departamento de ciencia militar, 2017.
- [23] OTAN, «*Land Battle Decisive Munitions*», 2017.
- [24] L. A. G. Díez, «*Evolución de la tecnología militar y su impacto en España*», Revista Web Dialnet.
- [25] Dave Armostrong, «*20mm AMR – New Use for Unused Ammo 20mm AMR – New Use for Unused Anti Material Rifle*», NAVSEA.
- [26] Jordi Camerón, «*20x102mm Vulcan M50*», Web Municion-org. [En línea]. Disponible en: <http://www.municion.org/20mm/20x102.htm>. [Accedido: 25-Sep-2019].
- [27] General Dynamics, «*20mm x 102*», Catálogo Web General Dynamics, pp. 27-28.
- [28] Jordi Camerón, «*20 x 110 mm Swis Oerlikon*», Web Municion.org. [En línea]. Disponible en: <http://www.municion.org/20mm/20x110USN.htm>. [Accedido: 25-Sep-2019].
- [29] Jordi Camerón, «*20x129/ 20 x128*», Web Municion.org. [En línea]. Disponible en: <http://www.municion.org/20mm/20x129.htm>. [Accedido: 25-Sep-2019].
- [30] Jefatura de Apoyo Logístico, «*Pliego de prescripciones tecnicas disparos de 20x128 mm*». Web Ministerio de Defensa.
- [31] «*Systems & Equipment ,Jane ' s Infantry Weapons*», Web Jane's information Group, 2002.
- [32] Ministerio de defensa, «*Cañón antiaéreo ligero oerlikon de 20 mm*», pp. 1-5, 1921.
- [33] Mando de adiestramiento y doctrina, «*ACAB-SA-012. Torre de VRCC Centauro*», Apuntes didácticos de la Academia de Caballería, 2014.
- [34] «*Designation: ARX-20*», Web Army Guide. [En línea]. Disponible en: <http://www.army-guide.com/eng/product4271.html>. [Accedido: 05-Oct-2019].

- [35] Empresa Nexter, «*P-20 Armement pour vehicules legers multi-missions*», Catálogo Web Nexter.
- [36] Empresa Escribano , «*Escribano Sentinel 20 Naval RWS Remote Weapon Station for 20 mm cannon*», Web Army Recognition, 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.armyrecognition.com/sitdef_2019_news_official_online_show_daily_lima_peru/sitdef_2019_escribano_sentinel_20_naval_rws_remote_weapon_station_for_20_mm_cannon.html. [Accedido: 07-Oct-2019].
- [37] Apoyo cuantitativo, «*El proceso analítico jerárquico (AHP)*», Revolución Electrónica Comun, vol. 1, pp. 1-15, 2002.
- [38] Taoufikallah, «El método AHP», pp. 46-49, 1990.
- [39] «*Presentado en Abu Dhabi un VAMTAC-ST5 armado con una torre de 20 mm.*» Web Defensa, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.defensa.com/industria/presentado-abu-dhabi-vamtac-st5-armado-torre-20-mm>. [Accedido: 27-Ene-2020]
- [40] Mando de adiestramiento y doctrina, «*PD4-022. Acciones Aerotransportadas n° 130253*».

[PÁGINA INTENCIONALMENTE EN BLANCO]

Anexo A. Especificaciones del sistema R400S-MK2

El R400S-MK2 ha llegado a ser el arma con sistema remoto líder dentro de su clase de peso. El MK2 se puede configurar como un sistema de arma simple o doble para operar con: ametralladora, lanzagranadas automático y el cañón Orbital ATK M230LF de 30 mm. En su configuración dual está equipado con el M230LF y 7.62 mm MG (y misil opcional) para proporcionar una letalidad significativa.

La probabilidad de impacto se produce a través de una mejora balística integrada, la cual analiza el arma seleccionada y datos de municiones; gama y entorno ambiental, además de la actitud y dinámica del vehículo. El rendimiento puede mejorar con seguimiento de video opcional de objetivos y estabilización.

La tecnología avanzada del R400S-Mk2 combinada con el cañón ligero ATK M230 LF de 30 mm proporciona a los vehículos ligeros acceso sin precedentes a la potencia de fuego normalmente reservada para vehículos mucho más pesados (blindados).

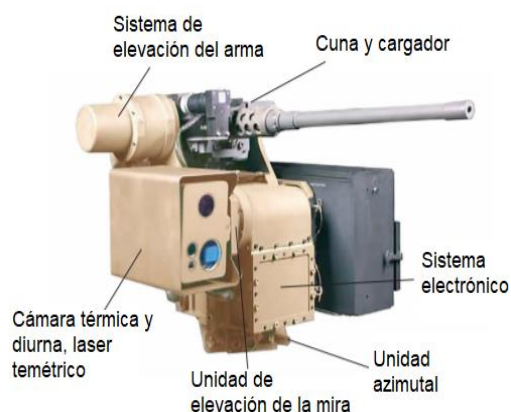


Ilustración 9. Sistema R400S-MK2

Fuente: EOS Catálogo R400S-MK2

La variante MK2 optimizada para vehículos rastreadores, incluye una unidad directa de sensor de accionamiento que minimiza las altas frecuencias y la vibración del vehículo que degrada la imagen de video del operador. Además, las armas instaladas en el MK2 se pueden operar manualmente (excepto el M230LF).

Datos obtenidos de [17].

	Configuración dual	Configuración simple			
Datos destacados	M230 LF/ 7.62 GPMG	30mm M230LF	12.7mm HMG	7.62mm GPMG	40mm AGL
Altura sobre el techo (sin arma)	687 mm				
Peso sobre el techo con arma, protección y munición	455kg	398kg	340kg	283 kg	297kg
Peso debajo del techo	26kg				
Máxima munición (proyectiles)	M230LF – 140 7.62mm - 500	75	500	1200	96
Estabilización bajo fuego	<1 miliradianes				

Sensor	Cámara diurna	Imagen térmica
Rango de detección	> 8,000 m	> 13,800m
Rango de reconocimiento	> 4,700 m	> 4,600m
Rango de identificación	> 2,900 m	> 2,300m

Tabla 11. Información técnica del sistema R400S-MK2

Fuente: Elaboración propia a partir de Catálogo EOS R400S-MK2

Anexo B. Especificaciones del cañón Rh-202 o MK-20

El Rh-202 es un cañón automático de 20 mm de origen alemán. Fue desarrollado en la década de 1960 por Rheinmetall como un sistema de armas de peso limitado que podía proporcionar un alto volumen de fuego. El diseño ha demostrado ser muy capaz y se ha utilizado en una amplia variedad de plataformas. El Rh-202 también es conocido bajo las designaciones de servicio alemanas MK-20, que es la abreviatura de Maschinenkanone 20.

El Rh-202 es un arma operada por gas con una velocidad de disparo bastante alta. Las fuerzas de retroceso se reducen mediante un freno de boca, además se basa en el principio de disparo continuo antes de que se complete la fase de retroceso anterior. Tiene un modelo de alimentación de correa simple y doble. Para aplicaciones en vehículos, la alimentación doble se usa para cambiar rápidamente entre munición rompedora y proyectiles de explosión. Para el uso antiaéreo, solo se requieren proyectiles de alta explosividad.

El Rh-202 dispara la munición común de la OTAN de 20x139 mm para la cual hay disponible una amplia variedad de tipos de municiones. El Rh-202 puede disparar de forma simple o disparos automáticos a 880 a 1.020 rpm. El alcance efectivo es de 2 km, mientras que el alcance inclinado para munición explosiva es de aproximadamente 4 km. El proyectil de 20x139 mm es efectiva contra infantería y vehículos blindados ligeros y aviones cercanos. Los vehículos más blindados, como los vehículos de combate de infantería mecanizados, generalmente son resistentes ante este calibre.

El Rh-202 se usa para en varias plataformas. El uso más común es en el vehículo de combate de infantería mecanizado Marder, pero también en muchos otros vehículos, incluidos los vehículos de reconocimiento Luchs, Tipo 6616 y Wiesel. El Rh-202 también se usa en armas antiaéreas.

Datos característicos obtenidos a partir de [18]

Tipo	Automático	Dimensiones	2.612 m largo
Calibre	20x139 mm OTAN	Peso	75 kg alimentación simple; 83 kg doble
Mecanismo	Operado por gas	Alimentación	Doble o simple correa
Tubo	2.002 m estriado	Cadencia	880-1020 disparos por minuto
Velocidad de salida	1.050 m/s	Retroceso	Fuerza de retroceso de 550 a 740 kg

Tabla 12. Especificaciones del cañón Rh-202

Fuente: Elaboración propia a partir de Web WeaponSystems



Ilustración 10. Cañón Rh-202

Fuente: Web WeaponSystems

Anexo C. Especificaciones del cañón 2A42

El 2A42 es un cañón automático de 30 mm de finales de la Guerra Fría de origen soviético. Este cañón mejoró significativamente la letalidad y el alcance de combate del BMP-2 en comparación con el BMP-1 con su cañón de baja presión de 73 mm. El 2A42 también se ha utilizado en otras plataformas y su munición de 30x165.

En cuanto a su funcionamiento, este cañón se acciona mediante una doble correa alimentada por gas, el cual funciona con energía eléctrica y requiere energía externa. El cañón largo está estriado y tiene un freno de boca doble deflector. La velocidad de disparo se puede seleccionar entre baja y alta. Debido a su importante retroceso, los requisitos de resistencia en el soporte son altos.

El calibre de proyectil que dispara el 2A42 es 30x165 mm, que se desarrolló específicamente para esta arma. Hay varios tipos de municiones disponibles. La configuración de baja velocidad de disparo es de 200 a 300 disparos por minuto y la configuración alta de aproximadamente 550 a 800 disparos por minuto. El alcance efectivo de la munición es ronda entre el 1,5 km y los 2 km.

El uso normalizado del 2A42 es como armamento principal de los vehículos de combate de infantería mecanizado como el BMP-2. Otros vehículos que usan el 2A42 son el BMD-2, BMD-3 y BTR-90. El 2A42 también se usa en los helicópteros Mi-28 Havoc y Ka-50 Hokum, lo que lo convierte en uno de los cañones de helicóptero más potentes en uso.

Datos característicos obtenidos a partir de [20]

Tipo	Automático	Dimensiones	3.027 m de largo
Calibre	30X165 soviético	Peso	115 kg en conjunto, 38.5 kg de tubo
Mecanismo	Opera por gas, alimentado eléctricamente	Alimentación	Doble correa de alimentación
Tubo	Dextrosum	Cadencia	200-300; 550-800 disparos por minuto
Velocidad inicial	960-970 m/s	Retroceso	De 30 a 40 kN

Tabla 13. Especificaciones del cañón de 2A42

Fuente: Elaboración propia a partir de Web WeaponSystems



Ilustración 11. Cañón 2A42

Fuente: Web WeaponSystems

Anexo D. Entrevista al grupo de especialistas de vehículos ligeros de la ALOG 1

1. Teniendo presente la plataforma base, el VAMTAC ST-5, del prototipo y que el peso estimado y máximo de una torre con las características que se busca es de 700 kg. ¿En qué medida se vería afectado la movilidad del ST-5?

2. En relación con la anterior pregunta ¿De qué modo se vería afectada la potencia del propio VAMTAC-ST5?

3. Respecto a los efectos de la fuerza del retroceso del tiro de una torre con cañón de 20 mm. ¿En qué medida se vería afectado la plataforma del ST5?

4. ¿Qué elementos extras o auxiliares serían convenientes para que el efecto del retroceso del disparo no repercuta en gran medida a la movilidad y estabilidad del VAMTAC-ST5?

5. En cuanto las dimensiones que presenta el VAMTAC-ST5. ¿Supondría algún inconveniente la implementación de una torre con las características que se buscan en el prototipo?

6. Uno de los posibles inconvenientes sería la dificultad del montaje de la torre sobre el techo del VAMTAC-ST5. ¿La propia plataforma prestaría facilidades a la hora de abordar este asunto?

7. Determinado y dando a conocer ciertas características de la torre que se busca. ¿Se podría determinar la viabilidad técnica y de implementación de la mencionada torre sobre el VAMTAC-ST5?

Anexo E. Cuestionario de valoración del prototipo

Tras la reorganización del Regimiento Lusitania Nº8 en la Brigada Almogávares VI de paracaidistas se ha iniciado el estudio de un Vehículo Aerolanzable de Exploración de Caballería (VAEC). De este modo, se está analizando la posibilidad de aumentar la potencia de fuego del VAMTAC ST-5 con una torre automática de 20 mm para proyectarlo como un posible VAEC. Así mismo se pretende conocer su punto de vista de este prototipo, por ello responda brevemente a este cuestionario.

1. Teniendo en cuenta los cometidos a desarrollar por la caballería paracaidista, evalúe del 1 al 10 la importancia de los siguientes aspectos a la hora de diseñar el VAEC.

- Potencia de fuego
- Blindaje
- Protección C-IED
- Capacidad de observación
- Movilidad

2. Según su criterio ¿Qué calibre sería el más adecuado para dotar al VAEC?

3. ¿Usted cree que la relación cañón de 20 mm y VAMTAC ST-5 es adecuada? ¿Por qué?

4. ¿Cuál es la cantidad mínima de munición de 20 mm que debería ser capaz de transportar el VAEC? Justifique brevemente su respuesta.

5. ¿Qué cantidad de munición debe estar disponible para el uso inmediato del arma principal? Justifique brevemente su respuesta.

6. ¿Qué tipos de munición debe ser capaz de usar?

7. Según su criterio ¿Con qué medios de visión debe contar el sistema de armas?

8. ¿Debe el arma principal ofrecer la posibilidad de ser controlada de manera remota por parte del JV?

9. ¿Considera necesario que el arma principal pueda ser accionada manualmente por el tirador, aparte de forma eléctrica?

10. ¿Qué otros sistemas auxiliares consideran oportunos para dotar al prototipo? (Sistemas de protección pasiva, sistemas electrópticos de vigilancia en profundidad, sistemas de gestión del campo de batalla, etc.)

11. Usted, desde su experiencia, considera viable el desarrollo de este prototipo. ¿Por qué? (Que necesidades y carencias tácticas cubriría, así mismo tenga en cuenta qué cometidos asignaría a este prototipo en relación con su potencia de fuego y su protección)

12. Otras observaciones.

Gracias por su participación.

Anexo F. Cuadro de municiones de calibre 20 mm

Munición 20 x 102 mm	Peso (Kg)	Velocidad (m/s)	Energía (julios)	longitud (cm)	Utilización/Características
EX	1,52	1.000	49.490	136,1	Disparos para mantenimiento de cañones y de entrenamiento de personal
EXT	1,48	1.000	47.970	136,1	Entrenamiento de personal con la ventaja de poder visualizar la trayectoria del proyectil, asegurando una mayor precisión de tiro
API	1,54	1.000	50.000	136,1	Capacidad de uso para ataques de aire a tierra contra objetivos con blindaje ligero tipo vehículos de transporte, semi-protegidos y transporte ferroviario. También se puede usar en defensa antiaérea.
HEI	1,54	1.000	50.000	136,1	Combinado con proyectil perforante incendiario, usado para objetivos terrestres, asegurando mayor precisión de disparo.

Tabla 14. Munición 20 x 102 mm

Fuente: elaboración propia a partir de web municion.org

Munición 20 x 110 mm	Peso (Kg)	Velocidad (m/s)	Energía (julios)	Longitud (cm)	Utilización/Características
EX	1,9	810	40.350	144,8	Disparos para mantenimiento de cañones y de entrenamiento de personal
EXT	1,944	810	41.312	144,8	Entrenamiento de personal con la ventaja de poder visualizar la trayectoria del proyectil, asegurando una mayor precisión de tiro
API	1,545	875	38.281	144,8	Combate naval y defensa antiaérea
HEI	1,545	875	38.281	144,8	Defensa antiaérea. Espoleta de autodestrucción con 3-7 segundos.

Tabla 15. Munición 20 x 110 mm

Fuente: elaboración propia a partir de web municion.org

Munición 20 x 128 mm	Peso (Kg)	Velocidad (m/s)	Energía (julios)	Longitud (cm)	Utilización/Características
EX	1,929	1.035	66.951	140	Disparos para mantenimiento de cañones y de entrenamiento de personal
EXT	1,929	1.035	66.951	140	Entrenamiento de personal con la ventaja de poder visualizar la trayectoria del proyectil, asegurando una mayor precisión de tiro
AEIT-AD	1,929	1.035	66.951	140	Defensa antiaérea. Puede ser empleada contra vehículos con blindaje ligero, transporte ferroviario o embarcaciones. Cuenta con una espoleta de destrucción instantánea contra el choque y de autodestrucción.

Tabla 16. Munición 20 x 128 mm

Fuente: Elaboración propia a partir de web munición.org

Resumen de las características relevantes de la munición 20 x 102 mm

- Este proyectil puede ser armando con 4 tipos de cargas según el propósito que se quiera conseguir: EX, EXT HEI y API¹⁰. De este modo, este calibre cubre los tipos de municiones requeridas por los cuadros de mandos. Con las dos primeras clases, la torre obtiene la capacidad de hacer frente tanto a blindajes ligeros como ligero-acorizados.
- La relación calibre-longitud produce suficiente energía cinética para conseguir los efectos buscados en los objetivos.
- Las dimensiones permiten aumentar la capacidad de lote abordó y de recurso inmediato durante un enfrentamiento.
- La fuerza del retroceso que produce estas municiones, al ser expulsadas, sobre el mecanismo de disparo es de carácter leve. Esto determina la utilización de un cajón de mecanismo de menor dimensiones y peso debido al no necesitar un refuerzo.

¹⁰ EX (Exercise): munición de ejercicio; EXT (Exercise Tracer): Munición de ejercicio con trazador.

Resumen de las características relevantes de la munición 20 x 110 mm

- Este proyectil puede ser armado con las cargas requeridas por los cuadros de mandos: API y HEI además de EX y EXT. Por otro lado, este tipo de calibre presenta la carga HEI con un sistema de autodestrucción, el cual se acciona al impactar. Esto permite asegurar la explosión del proyectil y por tanto aumentar la posibilidad de neutralizar y destruir el objetivo.
- Su iniciación mediante percusión permite la posibilidad de poder ser disparada de forma manual o eléctrica.

Anexo G. Especificaciones de la torre ARX-20

Fabricada por la empresa Nexter, fue desarrollada para llenar el espacio entre las estaciones de armas remotas de 12,7 mm y 30 mm. Ofrece una potencia de fuego y un alcance significativamente mayores que las primeras sin las limitaciones de plataforma de las últimas. El sistema usa la misma arma que el kit de armamento P-20. Las plataformas adecuadas incluirían HMMWV, VBL y VAB.

La potencia de fuego del cañón de 20 mm proporciona capacidad para realizar enfrentamientos contra amenazas asimétricas fuertemente armadas. Alberga un poder de disuasión inmediato. Y tiene la capacidad de destruir vehículos blindados ligeros.

Muy adecuado para misiones de seguridad y combate en áreas urbanas.

El conjunto ARX-20 incluye:

- Protección total de la tripulación. Todas las funciones (operación del sistema, detección de objetivos y disparo) se operan bajo la torre.
- Sistema de observación diurna / nocturna de 360 °.
- Posibilidad de fuego en movimiento mediante un sistema de estabilización.
- Sistema de ejecución a distancia.
- Peso y compacidad reducidos, limitaciones mecánicas bajas en el transportista.
- Montaje para integrarse en diferentes tipos de plataformas, incluidos vehículos ligeros 4x4.

Especificaciones técnicas:

- Arma principal calibre 20 mm con el cañón M621.
- Tipo de proyectil que usa: 102 x 20 mm.
- Cadencia de disparo (Disparos/minutos): 800.
- Municiones de uso inmediato :140 proyectiles.
- Alcance: hasta 2000 m.
- Elevación: 60 °.
- Depresión: 15°.
- Calibre de armamento auxiliar: 12.76mm coaxial.
- Peso total: 270 Kg.

Todos los datos han sido obtenidos de [34].



Ilustración 12. Torre ARX-20
Fuente: Web Army Guide

Anexo H. Especificaciones de la torre P-20

Fabricado por la Empresa Nexter, esta torre fue diseñada como armamento para vehículos ligeros multipropósitos. En comparación con los armamentos que usan calibres de 12,7 mm, esta torre se caracteriza por: por su baja masa, su reducida fuerza de retroceso, su potencia de fuego media (20 mm). Por ello, las misiones que se le puede asignar son: apoyo al movimiento, neutralización, protección, defensa personal o disuasión.

El cañón usado por la torre es el M621, conocido por su simplicidad en cuanto a implementación y mantenimiento. Además, puede ser armado con la munición estándar de 20 mm OTAN (20 x 102 o M50 o PGU). Esta arma, debido a su baja masa y su bajo retroceso, permite la instalación de un pivote en el techo del vehículo. Esta instalación es rápida y fácil, y no requiere herramientas específicas.

El conjunto P-20 incluye:

- Cañón Nexter 20 M621 20 mm.
- Horquilla pivotante.
- Conexión eléctrica.
- Interfaz de pivote (para circular).
- Visor de día óptico.
- Cuna giratoria.
- Módulo de control electrónico.
- Opción para designador láser.

Especificaciones técnicas:

- Armamento: Nexter 20 M 621.
- Municiones: 20 x102 Estándar OTAN, M50, PGU.
- Cadencia de tiro (Disparos / minuto): 750.
- Modos de disparo: disparo único, ráfagas limitadas o no.
- Munición de uso inmediato: 100 proyectiles.
- Alcance útil: hasta 2,000m.
- Esfuerzo de retroceso promedio: 250daN.
- Sector circular: $\pm 360^\circ$.
- Depresión y elevación: $-15^\circ / + 30^\circ$.
- Masa (juego completo, incluyendo caja de municiones): 167kg.

Todos los datos han sido obtenidos de [35].



Ilustración 13. Torre P-20

Fuente: Elaboración propia a partir de [35]

Anexo I. Especificaciones de la torre Sentinel-20

La compañía española Escribano presenta su estación de armas SENTINEL-20. Así mismo, esta estación de armas a control remoto (RCWS), o estación de armas a distancia (RWS), también conocida como sistema de armas remotas (RWS), es un sistema armado y operado de forma remota. Además, está equipado con un sistema de control de fuego para armas de calibre ligero y mediano que se puede instalar en vehículos de combate terrestres o plataformas de combate destinadas al uso en mar o aire. Esta torre fue diseñada para usarse en todas las operaciones climáticas (día y noche) para misiones de combate y vigilancia.

El conjunto Sentinel-20 incluye:

- Sistema de estabilización y seguimiento.
- control remoto con estabilización giroscópica.
- Consola del operador, lo que mejora significativamente la seguridad de la tripulación.
- Sensores electroópticos de última generación para vigilancia diurna / nocturna.
- Función integrada de seguimiento de video.
- Sistema de búsqueda láser (alcance máximo de 12.000 m).
- Programas balísticos en la unidad de control.

Especificaciones técnicas:

- Armamento principal: cañón Oerlikon 20.
- Municiones: 20 x 110 mm y 20 x 128 mm.
- Cadencia de tiro (Disparos / minuto): 500.
- Munición de uso inmediato: 200 proyectiles.
- Alcance útil: hasta 2.000 m.
- Cámara térmica y telémetro laser.
- Sector circular: $\pm 360^\circ$.
- Depresión y elevación: $-20^\circ / +60^\circ$.
- Masa (incluyendo caja de municiones): 600 kg.

Todos los datos han sido obtenidos de [36].

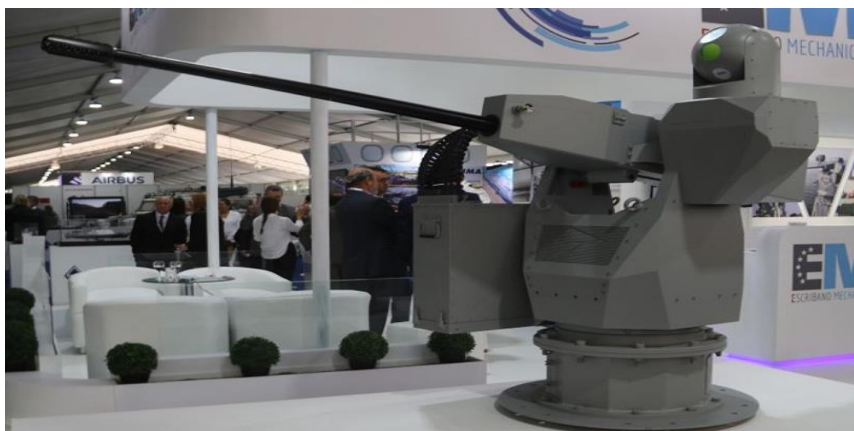


Ilustración 14. Torre Sentinel-20

Fuente: Web ArmyRecognition

Anexo J. Metodología AHP

El Proceso de Análisis Jerárquico, es un método basado en la evaluación de diferentes criterios que permiten jerarquizar un proceso y su objetivo final. Consiste en optimizar la toma de decisiones gerenciales. Esta metodología se utiliza para resolver problemas en los cuales existe la necesidad de priorizar distintas opciones y posteriormente decidir cuál es la opción más conveniente. Se incluyen tres etapas de la metodología de AHP propuestas en su formulación inicial (Saaty 1980): modelización; valoración y, priorización y síntesis.

En la primera etapa (modelización), se construye un modelo o estructura jerárquica (Véase figura 10) en la que queden representados todos los aspectos considerados relevantes en el proceso de resolución (actores, escenarios, factores, elementos e interdependencias). En el nivel superior de la jerarquía (nivel 0) se coloca la meta global o misión considerada para el problema, y en los sucesivos niveles (1,2,3...) los demás aspectos relevantes. En el caso más sencillo de jerarquía (sólo dos niveles adicionales), se incluyen en el siguiente nivel (nivel 1) los criterios considerados, y en el último (nivel 2) las alternativas. La jerarquía resultante debe ser completa, representativa (incluye todos los atributos relevantes), no redundante, y minimal (no incluye aspectos irrelevantes).

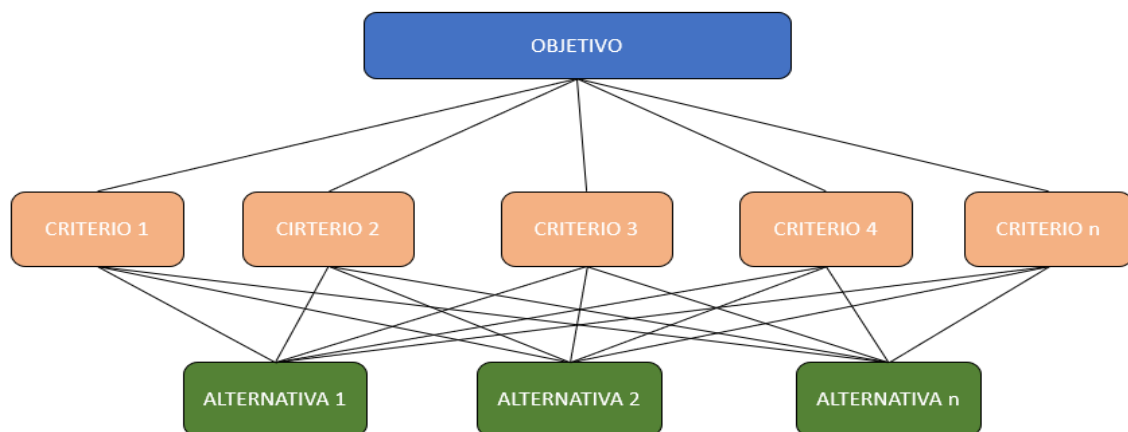


Figura 11. Estructura jerarquizada
Fuente: Elaboración propia

En la segunda etapa (valoración) se incorporan las preferencias, gustos y deseos de los actores mediante los juicios incluidos en las denominadas matrices de comparaciones pareadas. Estas matrices cuadradas A_{ij} reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo o propiedad en común. En particular, a_{ij} representa la dominación de la alternativa i sobre la j (cada elemento de la primera columna respecto a todos los elementos de la primera fila).

Para transformar esta dominación a determinación numérica se utiliza la escala de Saaty (Véase tabla 16). Los valores 2, 4, 6 y 8 suelen utilizarse en situaciones intermedias y las cifras decimales en estudios de gran precisión. Dicha matriz se realiza comparando en primer lugar los criterios identificados previamente.

De este modo, el resultado que se obtiene de comparar los diferentes criterios en un matriz cuadrada es el siguiente:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{1n} \\ a_{21} & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual de importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio
3	Moderadamente más importante un elemento que el otro	La experiencia favorece a un elemento frente al otro
5	Fuertemente más importante un elemento que en otro	La experiencia favorece fuertemente a un elemento frente al otro
7	Mucho más fuerte la importancia de un elemento que la del otro	Un elemento domina fuertemente
9	Importancia extrema de un elemento frente al otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud

Tabla 17. Escala de Saaty

Fuente: Elaboración propia a partir de [34] y [35]

La última etapa de la metodología (priorización y síntesis), proporciona las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema. En general, se entiende por prioridad una unidad abstracta válida para cualquier escala en la que se integran las preferencias que el individuo tiene al comparar aspectos tangibles e intangibles. El procedimiento matemático seguido en su obtención es el método del autovector principal por la derecha (Saaty, 1980). De este modo, se sigue:

- 1º. Normalización de la matriz A_{ij}

$$A = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \frac{a_{1n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \frac{a_{21}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{n1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \end{bmatrix}$$

- 2º. Obtención de las ponderaciones a través de la media aritmética de las filas de la matriz normalizada A . Estas ponderaciones se denominan pesos (W).

$$W = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix}$$

- 3º. Cálculo de la Razón de Consistencia (RC) de la matriz de comparación de los criterios para determinar su consistencia.

$$RC = IC/ICA$$

- Donde IC (Índice de Consistencia) = $(P - n) / (n - 1)$
- P = Suma aritmética de la columna de la matriz A x W
- n = número de criterios
- ICA (Índice de Consistencia Aleatorio) determinado por la tabla 18.

Criterios (n)	3	4	5	6	7	8	9
ICA	0.525	0.882	1.121	1.252	1.341	1.404	1.452

Tabla 18. Índice de Consistencia Aleatorio según n

Fuente: Elaboración propia a partir de [34]

La obtención del RC debe ser <0.1 para que la ponderación de los criterios se determine como consistente y válido.

Del mismo modo se efectúa los mismos pasos con las alternativas atendiendo a los distintos criterios marcados.

Como resultado se obtiene una matriz de decisión (Véase tabla 19), donde las filas y las columnas proporcionar las ponderaciones efectuadas de las alternativas respecto de los distintos criterios (vectores promedios). Se añade una última fila con los pesos de los criterios (W) obtenidos.

Alternativas	Criterio 1	Criterio 2	Criterio n	Priorización
Alternativa 1	e_{11}	e_{12}	e_{1n}	P_1
Alternativa 2	e_{21}	e_{22}	e_{2n}	P_2
Alternativa n	e_{31}	e_{32}	e_{3n}	P_n
Pesos (W)	W_1	W_2	W_n	

Tabla 19. Matriz de decisión

Fuente: Elaboración propia a partir de [34]

Como último paso y para determinar las priorizaciones de las alternativas se efectúa una suma de productos matriciales de los pesos (W) con las distintas filas e_{ij} . Dará como resultado la fila de priorización de la tabla 19 y de entre esos valores se escogerá el más alto, siendo este el que se posiciona como mejor alternativa del problema multicriterio.

Todos los datos y explicaciones han sido obtenidos de [37] y [38].

Anexo K. Cálculos de la metodología AHP para la propuesta de la torre de 20 mm

Los cálculos realizados en esta metodología se han elaborado a través del Software Excel. De este modo, se ha utilizado las operaciones propias que permite el programa para las diversas operaciones matemáticas expuestas en el anexo K. Todos estos cálculos pertenecen a la tercera etapa del mismo proceso (priorización y síntesis) partiendo de la.

Los pasos han sido los siguientes:

- Elaboración de la matriz de comparaciones pareadas de criterios según la escala de Saaty

Criterios	Peso	Elevación y depresión	Calibre	Cadencia	Muni. Inmed.
Peso	1	1/3	1/2	1/3	1/4
Eleva. y depre.	3	1	3	2	1/2
Calibre	2	1/3	1	1/4	1/4
Cadencia	3	1/2	4	1	2
Muni. Inmed.	4	2	4	1/2	1
Total	13,00	4,17	12,50	4,08	4,00

Tabla 20. Matriz de comparaciones pareadas de criterios A_{ij}

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de la matriz normalizada A respecto de la matriz de comparación de criterios.

Matriz normalizada				
0,08	0,08	0,04	0,08	0,06
0,23	0,24	0,24	0,49	0,13
0,15	0,08	0,08	0,06	0,06
0,23	0,12	0,32	0,24	0,50
0,31	0,48	0,32	0,12	0,25

Tabla 21. Matriz normalizada A a partir de A_{ij}

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de los pesos (W) de los criterios a través de la media aritmética de las filas de la matriz normalizada A .

Criterios	Pesos(W)
Peso	0,07
Eleva. y depre.	0,27
Calibre	0,09
Cadencia	0,28
Muni. Inmed.	0,30

Tabla 22. Pesos de los criterios

Fuente: Elaboración propia

- Elaboración de la Razón de Consistencia (CR) para determinar que las comparaciones pareadas de los criterios tienen, mismamente, consistencia.

AxW		
0,37	P	5,426
1,45	$CI=(P-n)/(n-1)$	0,106
0,46	ICA	1,115
1,56	$CR=CI/ICA$	0,095
1,59		

Tabla 23. Cálculo del CR
Fuente: Elaboración propia

- Repetición del mismo proceso de normalización y obtención de ponderaciones con las matrices de comparaciones pareadas, pero esta vez de las alternativas según los criterios definidos. Se añade sus razones de consistencias (CR) correspondientes. En todas las tablas para introducir los valores de la escala de Saaty, las comparaciones se realizan mediante el enfrentamiento de cada alternativa de la columna con las distintas alternativas de la fila atendiendo a los valores y datos de las distintas torres que aparecen en los anexos G-I . A continuación, se muestra un serie de tablas que efectúan los cálculos:

	Criterio: Cadencia			Matriz normalizada			Ponderación
	ARX-20	P-20	SENTINEL-20				
ARX-20	1	2	7	0,61	0,63	0,50	0,58
P-20	1/2	1	6	0,30	0,32	0,43	0,35
SENTINEL-20	1/7	1/6	1	0,09	0,05	0,07	0,07
Total	1,64	3,17	14				

$A_1 \times W_1$	P_1	3,045
1,77	$CI=(P_i-n)/(n-1)$	0,023
1,06	ICA	0,525
0,21	$CR=CI/ICA$	0,043

	Criterio: Peso			Matriz normalizada			Ponderación
	ARX-20	P-20	SENTINEL-20				
ARX-20	1	1/3	6	0,24	0,23	0,40	0,29
P-20	3	1	8	0,72	0,69	0,53	0,65
SENTINEL-20	1/6	1/8	1	0,04	0,09	0,07	0,06
Total	4,17	1,46	15				

$A_2 \times W_2$	P_2	3,056
0,87	$CI=(P_i-n)/(n-1)$	0,028
2,00	ICA	0,525
0,19	$CR=CI/ICA$	0,054

	Criterio: Elevación y depresión			Matriz normalizada			Ponderación
	ARX-20	P-20	SENTINEL-20				
ARX-20	1	6	1	0,46	0,46	0,46	0,46
P-20	1/6	1	1/6	0,08	0,08	0,08	0,08
SENTINEL-20	1	6	1	0,46	0,46	0,46	0,46
Total	2,17	13,00	2,17				

$A_3 \times W_3$	P_3	3,033
1,40	$CI = (P_i - n) / (n - 1)$	0,017
0,23	ICA	0,525
1,40	$CR = CI / ICA$	0,032

	Criterio: Calibre			Matriz normalizada			Ponderación
	ARX-20	P-20	SENTINEL-20				
ARX-20	1	1	1/2	0,25	0,25	0,25	0,25
P-20	1	1	1/2	0,25	0,25	0,25	0,25
SENTINEL-20	2	2	1	0,50	0,50	0,50	0,50
Total	4,00	4,00	2,00				

$A_4 \times W_4$	P_4	3,000
0,75	$CI = (P_i - n) / (n - 1)$	0,000
0,75	ICA	0,525
1,50	$CR = CI / ICA$	0,000

	Criterio: Munición inmediata			Matriz normalizada			Ponderación
	ARX-20	P-20	SENTINEL-20				
ARX 20	1	4	1/2	0,31	0,40	0,29	0,33
CP 20	1/4	1	1/5	0,08	0,10	0,12	0,10
SENTINEL 20	2	5	1	0,62	0,50	0,59	0,57
Total	3,25	10,00	1,70				

$A_5 \times W_5$	P_5	3,042
1,02	$CI = (P_i - n) / (n - 1)$	0,021
0,30	ICA	0,525
1,73	$CR = CI / ICA$	0,040

- Se observa que todas las comparaciones tienen consistencias ya que ningún valor de RC es superior a 0,1.
- Por último, se realiza la matriz de decisión que viene determinada por los pesos (W) y las ponderaciones de las distintas alternativas según los criterios (Véase relación de colores de las tablas). El resultado es la priorización de la alternativa que más se ajusta a los criterios establecidos.

Alternativas	Criterios					Priorización
	Peso	Eleva. y depre.	Calibre	Cadencia	Muni. Inmd.	
ARX-20	0,29	0,46	0,25	0,58	0,33	0,427
P-20	0,65	0,08	0,25	0,35	0,10	0,214
SENTINEL-20	0,06	0,46	0,50	0,07	0,57	0,359
Pesos (W)	0,07	0,27	0,09	0,28	0,30	

Tabla 24. Matriz de decisión

Fuente: Elaboración propia